

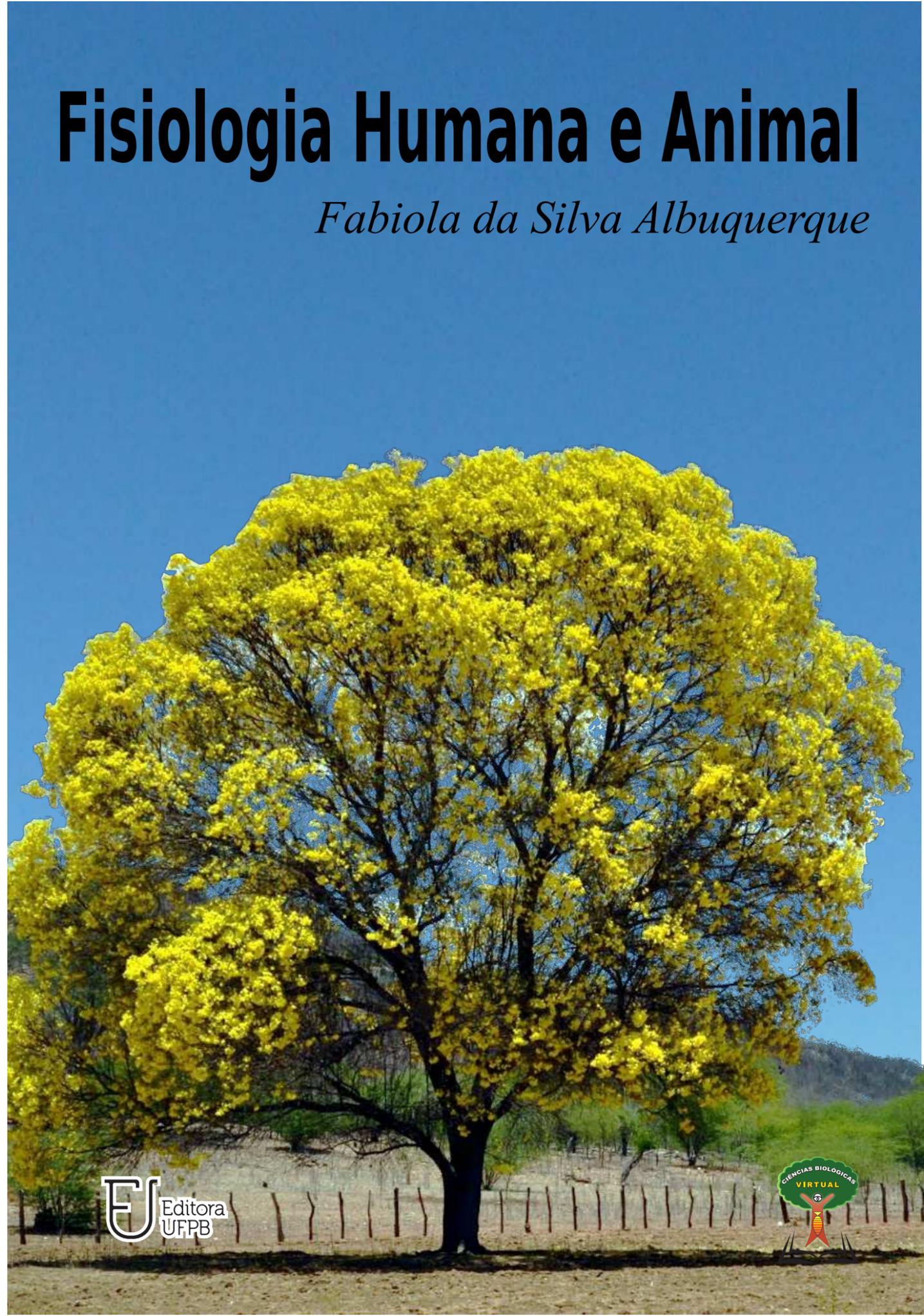
Universidade Federal da Paraíba
Licenciatura em Ciências Biológicas a Distância



Fisiologia Humana e Animal

Fisiologia Humana e Animal

Fabiola da Silva Albuquerque



Fabiola da Silva Albuquerque

Fisiologia Humana e Animal

Editora da UFPB
João Pessoa
2015



UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA

Reitora MARGARETH DE FÁTIMA FORMIGA MELO DINIZ
Vice-Reitor EDUARDO RAMALHO RABENHORST
Pró-reitora de graduação ARIANE NORMA DE MENESES SÁ
Diretor da UFPB Virtual JAN EDSON RODRIGUES LEITE
Diretora do CCHSA TEREZINHA DOMICIANO DANTAS MARTINS



EDITORA DA UFPB

Diretora IZABEL FRANÇA DE LIMA
Supervisão de Editoração ALMIR CORREIA DE VASCONCELLOS JÚNIOR
Supervisão de Produção JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS FILHO

CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS À DISTÂNCIA

Coordenador RAFAEL ANGEL TORQUEMADA GUERRA
Vice-coordenador ELIETE LIMA DE PAULA ZARATE

A3457f Albuquerque, Fabíola da Silva.

Fisiologia Humana e Animal / Fabíola da Silva Albuquerque. - João
Pessoa: Editora da UFPB, 2015.

225p. : il. –

ISBN: 978-85-237-1012-5

Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas à Distância.
Universidade Federal da Paraíba.

1.Biologia. 2.Educação a distância. 3.Fisiologia. 4.Biologia
molecular. I. Título

CDU: 63

Todos os direitos e responsabilidades dos autores.

EDITORA DA UFPB
Caixa Postal 5081 - Cidade Universitária
João Pessoa - Paraíba - Brasil
CEP: 58.051 - 970
<http://www.editora.ufpb.br>

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Apresentação

Maio de 2008. Lá se vão quase sete anos... Foi nessa época que demos os primeiros passos para a implantação do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas a Distância. Éramos um grupo de dez professores, dez tutores e uma secretária. Naquele momento, estávamos, todos nós, iniciando um aprendizado. Nós, que achávamos que sabíamos tudo sobre o “ser professor” iríamos, em breve, descobrir que havia um novo aprendizado, um novo caminho a trilhar, o caminho da Educação a Distância, EaD. Como disse o poeta espanhol Antonio Machado, “...caminante, no hay camino. El camino se hace al andar” (Caminhante, não há caminho, o caminho se faz ao andar). E foi seguindo essas palavras de Machado que este curso foi, pouco a pouco sendo erguido, com a preciosa colaboração de mais professores e tutores que foram chegando e com a participação fundamental dos atores principais, nossos alunos. Comecei no curso como coordenador e, nessa função, pude conhecer um pouco melhor minha Paraíba, terra de adoção que, apesar de ter aqui chegado no final de 1989, só conhecia até Campina Grande. A Borborema parecia, para mim, intransponível. Mas, graças a minha função, tive e tenho o prazer de poder percorrer sistematicamente de Itaporanga a São Bento, de Araruna a Cabaceiras, do Conde a Duas Estradas. E hoje, também, de Camaçari a Jacarací, na Bahia. Lembro que, numa viagem, passando próximo a Santa Luzia, avistei uma árvore florida e a apresentei aos colegas de viagem:

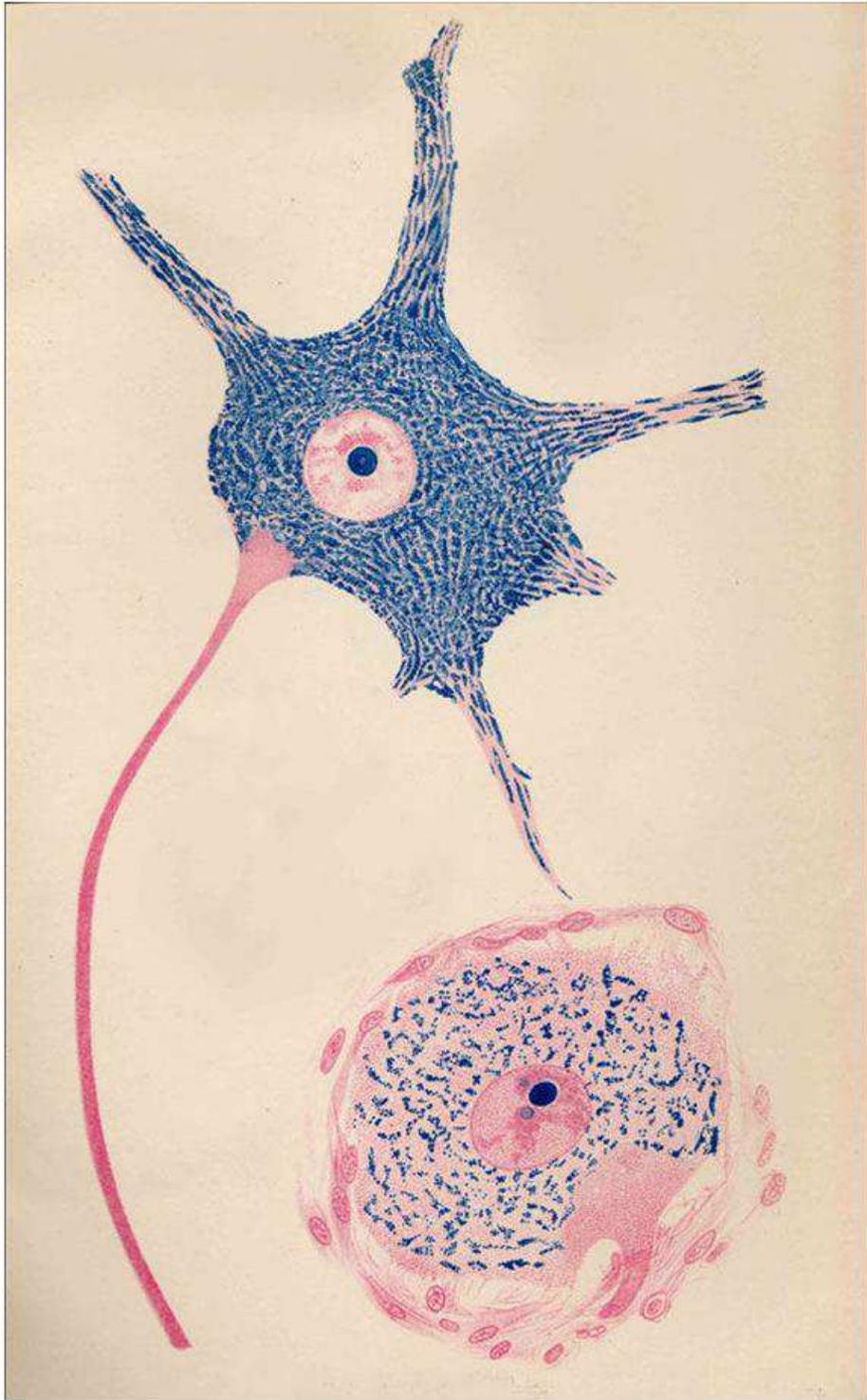
- Pessoal, olhe aquele ipê amarelo florido. E o motorista, com sua sabedoria me corrigiu:

- Professor, não é um ipê é uma craibeira, árvore aqui do sertão.

E assim, a capa desta coleção que apresenta uma craibeira florida da região do Seridó paraibano, tem continuidade na contracapa que apresenta um ipê amarelo florido da Mata Atlântica. Podemos fazer uma analogia com o fato de o curso ser produzido aqui, na capital, mas ele é todo dedicado a vocês, queridos alunos,

que se encontram espalhados por todo o Estado e até pelos estados vizinhos. A EaD veio para verdadeiramente democratizar o ensino superior de qualidade levando os cursos aonde o aluno está. Independente de situação geográfica, financeira, civil ou trabalhista. Todos, de fato, têm direito a ele. Pensando assim, nos lançamos na criação desta coleção produzida por alguns de nossos melhores professores para muitos de vocês, alunos. Esperamos que a aproveitem. Sem vocês, nada disto teria sentido.

Rafael Angel Torquemada Guerra



Neurônio medular – Fonte:
http://www.consumer.es/web/es/salud/investigacion_medica/2006/05/08/175759.php



Animais da Caatinga - Fonte: <http://sobreacaatinga.blogspot.com.br/>



Animais de outras regiões do Brasil - Fonte: <http://cetas-ufv.blogspot.com.br/2009/05/semana-do-meio-ambiente.html>

PREFÁCIO

É com imenso prazer entrego esta obra para você. Ela foi feita com extremo carinho e o máximo de desejo em servir como mecanismo de aprendizagem. A decisão de escrever esse texto foi gestada na minha experiência com a educação à distância e toma como base “contar uma história”. Para mim, a transmissão é um processo de encantamento. Professores com profundo conhecimento técnico ajudam bastante aos alunos. Mas, professores encantados com o conhecimento despertam o desejo pelo conhecer.

Para contar uma história é preciso dar detalhes, argumentos, explicar com exemplos, usar de diferentes estratégias para garantir que seja possível “acompanhar” a história. Por isso, os capítulos foram escritos em linguagem quase coloquial, utilizando analogias muitas vezes bem “estranhas”, com figuras ilustrativas.

A história aqui contada é sobre o conhecimento básico e já bem estabelecido da **Fisiologia Humana e Animal**. Em seis capítulos, ela tenta compreender como nós, humanos, e os demais animais nos mantemos vivos. Então começa discutindo **Vida e Homeostase**, contando o que esse conceito da fisiologia diz sobre vida. E como saco vazio não fica em pé, segue apresentando as estratégias para **Obtenção de Nutrientes**. Nutrientes que estão incluídos na **Circulação de Substâncias pelo Corpo**. Quando a história parece já terminada, concluímos que é preciso fazer a **Manutenção da Homeostase** e, momento a momento, sequer nos lembramos disso. Creio que a história se torna bem mais completa quando jun-

tamos **Comportamento e Homeostase** e, para finalizar, a história nos leva à multiplicação da vida, com a **Reprodução**.

Nas passagens imperdíveis da história, o texto sempre é destacado com **sublinhado** e esses termos estão organizados por ordem alfabética no **Índice** do final do livro. Assim, quando for necessário lembrar alguma passagem importante, é só procurar pelo termo e seguir a página. Também, todas as **figuras foram relacionadas** ao final do livro. Então, quando precisar rever alguma ilustração, pode ir direto.

Aqui estou falando na primeira pessoa do singular. Eu para você. Mas, o texto vem na primeira pessoa do plural (podemos, descrevemos, apresentamos etc.), porque enquanto ferramenta de aprendizagem, o texto deve ser vivido por nós: eu e você que estiver lendo. Assim, se eu posso fazer uma analogia, “nós” temos que poder! Senão a analogia não terá nenhum efeito. Nesse ponto eu tenho que lhe alertar: se você não se sentir incluído(a) no “nós” é porque a coisa não está clara e você tem todo direito de me mandar “puxões de orelha” sugerindo que o texto melhore (veja meu email na última página, onde também está meu mini-currículo).

Na expectativa de ajudar a compreensão dessa história o máximo possível, eu uso algumas chamadas intertextuais. O quadro **Conexões** alerta onde o assunto foi visto anteriormente. **Veja com seus próprios olhos** é um quadrinho só para curiosos – que somos todos nós! E na preparação dos futuros mestres, o quadro **Eu sou o professor** lhe convoca a “pôr a mão na massa”. Por fim, para deixar “uma pulga atrás da orelha”, no final de cada capítulo eu incluí o quadro **Exercite sua mente**.

Eu continuo encantada com o aprender, fruto de excelentes mestres que acolheram minha curiosidade e que estão todos aqui, por trás de minhas letras. O encantamento é também pelo brilho nos olhos de quem abre uma janela no horizonte. Por isso, meus alunos e ex-alunos presenciais ou virtuais também estão aqui, por trás do meu esforço de fazer você compreender essa história.

Então, eu desejo que esse caminho de contação de história também possa ser seu, que este livro lhe encante de algum modo e que, encantado(a), você desperte o brilho no olhar de seus alunos.

Seja bem vindo(a)!

João Pessoa, 11 de março de 2015.

SUMÁRIO

1. VIDA E HOMEOSTASE	15
Vida e Energia.....	15
Meio Interno e Trocas de Substâncias.....	16
Homeostase e os Mecanismos de Transporte	21
Variáveis Fisiológicas e Faixa Homeostática.....	27
Sistemas Fisiológicos e <i>Feedback</i>	29
2. OBTENÇÃO DE NUTRIENTES.....	35
Nutrientes	35
Obtenção de Oxigênio e Sistemas Respiratórios.....	37
Mecânica Respiratória Humana.....	43
Alimento e Nicho Ecológico	50
Estrutura e Funções do Sistema Digestório.....	52
Órgãos do Tubo Digestório e a Digestão	57
Sistema Digestório nos Ruminantes	65
Controle do Sistema Digestório no Homem.....	68
3. CIRCULAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NO CORPO	79
Sistema Circulatório e o Circuito do Sangue	79
O Sangue e Transporte de Gases.....	87
Coração Humano e Ciclo Cardíaco.....	95
Pressão Arterial e Fluxo Sanguíneo.....	99
Controle da Microcirculação	106
4. MANUTENÇÃO DA HOMEOSTASE.....	111
Estrutura de Uma Resposta Reflexa.....	111
Organização do Sistema Nervoso de Vertebrados.....	114
Impulso Nervoso.....	122
Sinapse e Transmissão Sináptica.....	126

Potencial Muscular e Ritmicidade Cardíaca.....	129
Sistema Endócrino	133
Eixo Hipotálamo-Hipófise	139
Doenças Endócrinas Humanas.....	144
5. COMPORTAMENTO E HOMEOSTASE	147
Receptores Sensoriais e Órgãos do Sentido	147
Hierarquia de Função no Sistema Nervoso Central.....	161
Vias Sensoriais e Percepção	165
Respostas Cognitivas e Respostas Comportamentais.....	172
Músculos e Reflexos Espinhais.....	179
Controle da Micção e Sistema Urinário.....	190
6. REPRODUÇÃO	195
Diferenciação Sexual Humana	195
Sistema Reprodutor Masculino	197
Fecundação e Gravidez.....	203
Comportamento Sexual e Prevenção.....	206
REFERÊNCIAS.....	208
ÍNDICE DE FIGURAS.....	209
ÍNDICE ALFABÉTICO	217
SOBRE A AUTORA	227

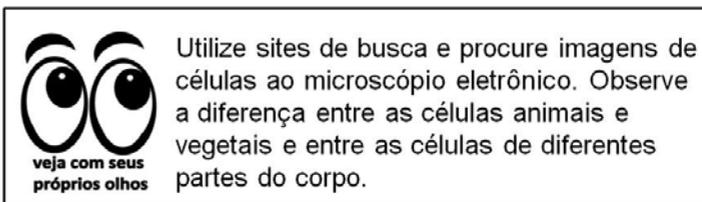
1. VIDA E HOMEOSTASE

Vida e Energia

Um dos primeiros conceitos na infância é a identificação na natureza do que é “animado” e o que é “inanimado”. Ânima significa VIDA! É interessante que definimos uma pessoa muito brincalhona como “animada”. Justamente: uma pessoa cheia de vida. A partir da compreensão desse conceito, animais e plantas passam a ter um lugar diferencia-

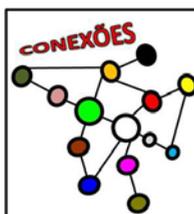
do no mundo das nossas ideias, ficando separados de pedras,

areia e outros elementos naturais. E se tem vida, é preciso cuidado. Cuidar significa garantir que as células, elementos que constituem os organismos vivos, recebam todos os elementos necessários à sua sobrevivência.



Fonte: da autora

Provavelmente, a diferença mais óbvia entre plantas e animais seja a capacidade que estes últimos têm de se mover. Além do



Em outras disciplinas você já ouviu falar sobre células. O que você sabe ou lembra sobre elas? E sobre o ciclo bioquímico do ácido cítrico, o que você lembra? Faça uma pequena revisão ou busque mais informações.

Fonte: da autora

movimento, uma característica fundamental dos animais é que eles precisam

obter alimento para fabricar energia, que será utilizada para as atividades e a manutenção da célula, enquanto as plantas fazem isso a partir da fotossíntese. No senso comum, é conhecido que uma pes-

soa pode morrer se o seu coração parar de bater. Isso também é verdade para animais de estimação, como cães, gatos, pássaros etc.; animais de criação, como o gado, bodes, ovelhas, galinhas etc. e todos os animais que possuírem coração. A morte também pode ocorrer se a respiração for bloqueada. O batimento cardíaco e a respiração são funções relacionadas ao fornecimento de substâncias para as células produzirem sua energia. O uso e a reposição da energia nas células formam o metabolismo básico que mantém a célula viva. Para os metazoários, animais formados por muitas células, estando aí incluindo o homem, manter-se vivo significa manter todas as suas células vivas. E, para isto, elas precisam produzir energia.

Em termos biológicos, a principal fonte de energia é o ATP (a molécula de adenosina tri-fosfato). O ATP é fabricado na mitocôndria das células em ciclos bioquímicos que são mantidos pela disponibilidade dos nutrientes utilizados nesse processamento: biomoléculas (carboidratos, lipídeos e proteínas) oriundas dos alimentos, água e oxigênio. Ou seja, esses nutrientes precisam chegar até o citoplasma das células – o líquido intracelular. Os sistemas fisiológicos estão organizados para que isso ocorra, como será visto ao longo desse livro, e o estudo da fisiologia visa compreender essa organização e a dinâmica do funcionamento desses sistemas.

Meio Interno e Trocas de Substâncias

Para o sucesso nesse estudo, é fundamental que se tenha a compreensão de que o corpo dos animais (e sempre que essa palavra surgir, daqui em diante, é preciso lembrar que aí está incluindo o homem) é o resultado da junção de várias células que formam tecidos. Os tecidos se combinam formando órgãos e estruturas acessórias. Os órgãos participam de sistemas fisiológicos e estruturam o

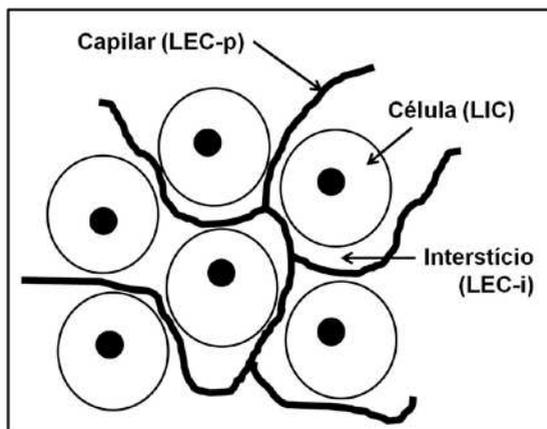
corpo.

No tecido, as células continuam sendo unidades, mas possuem vizinhos no seu entorno. A membrana celular separa uma célula da outra. Podemos fazer uma analogia com uma rua de casas. Cada casa é uma unidade cercada de vizinhos. Várias ruas formam um conjunto habitacional que, na nossa analogia, representaria o tecido. As ruas são os acessos possíveis a cada casa. Há ainda as calçadas que separam a rua em si da própria casa. Voltando ao corpo, o acesso às células é feito através dos vasos sanguíneos mais finos que existem: os capilares. Entre os capilares e as células, existe o espaço intersticial que é preenchido de líquido de mesmo nome, que na analogia seriam as calçadas. O conjunto formado pelo líquido intersticial e pelo sangue que preenche os capilares próximos às células (especificamente sua parte líquida, ou seja, o plasma) é denominado de líquido extracelular. Tenha em mente que tudo isso é microscópico. Ao observar uma parte do corpo, não visualizamos as células, o espaço entre elas e seus capilares, mas o conjunto que tem uma aparência macroscópica própria, por exemplo, a pele.

Os espaços ocupados pelos líquidos intracelular (LIC) e extracelular (LEC) – intersticial (LEC-i) e o plasma (LEC-p) – são denominados de compartimentos (figura 1). O principal conteúdo do líquido contido nesses espaços é a água e nela estão diluídas substâncias que em conjunto são chamadas de solutos (íons, sais, biomoléculas, oxigênio, etc.). Somando a quantidade do líquido do citoplasma de todas as células, o LIC corresponde a aproximadamente 70% do líquido no nosso corpo, enquanto toda a soma do LEC-i perfaz 24%. O plasma sanguíneo (LEC-p) corresponde a apenas 6% de todo o líquido de nosso corpo. É claro que individualmente cada mi-

microscópica célula guarda apenas um pouquinho do total do LIC.

Figura 1: Representação de um conjunto de células e os capilares que passam próximo a elas, ilustrando os compartimentos do corpo: LIC – líquido intracelular; LEC-i – líquido intersticial e LEC-p – líquido do plasma sanguíneo que passa pelo capilar (estruturas sem proporção de tamanho entre si).



Fonte: da autora

Um estudioso francês chamado Claude Bernard, que viveu nos anos de 1800, denominou o conjunto desses compartimentos de **meio interno**. O meio externo é o ambiente no qual os animais vivem. O meio interno é o “ambiente” em que as células vivem, por isso, mais precisamente, o meio interno é referido em relação ao líquido extracelular (LEC-p + LEC-i). A água, o oxigênio e as biomoléculas (os nutrientes) são retirados do meio externo e encaminhados ao meio interno. Resumidamente: os animais se alimentam e respiram obtendo os nutrientes necessários à produção de energia; estes são absorvidos para o sangue, ficando diluídos no plasma; quando o sangue passa pelos capilares, esses nutrientes se deslocam para o interstício e de lá podem entrar na célula (figura 2). Ou seja, o meio interno serve como um “armário” de onde a célula retira os elementos que ela necessita. Ocorre que toda produção de ATP gera como **resíduo** o dióxido de carbono (CO₂). Em grande quantidade, esse gás é tóxico e por isso precisa ser eliminado. Continuando a analogia, do

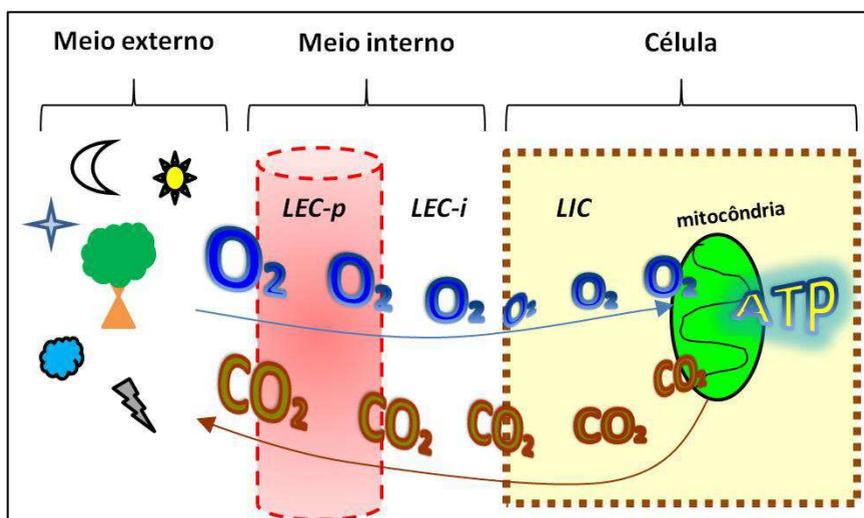
armário de nossa casa retiramos os ingredientes para alimentação e ao produzir o alimento, geramos algum lixo (cascas, embalagens, etc.). O armário vai ficando “vazio” e o cesto de lixo vai ficando “cheio”. Temos que repor ingredientes no armário e limpar o cesto de lixo.

A atividade da célula, que denominamos de metabolismo, refere-se às várias reações físico-químicas entre substâncias no citoplasma. Estas reações levam ao consumo dos nutrientes e à produção de resíduos. A célula joga todos os seus resíduos no interstício e, de lá, eles entram no sangue e precisam ser eliminados para o meio externo (figura 2), o que é garantido pela ação dos sistemas fisiológicos.

Observe: a ingestão dos nutrientes leva ao aumento deles no meio interno; quando estão disponíveis, eles são consumidos pela célula, o que leva à redução de sua quantidade no meio interno. Essa redução é compensada por uma nova ingestão. Do outro lado, ao produzir a energia, ocorre o aumento do nível de resíduos no meio interno, que será reduzido quando da eliminação deles. O aumento levou à redução. Essa dinâmica compreende o balanço de massa. Considerando as substâncias importantes para o corpo e que estão dispersas pelos líquidos corporais, isso significa que toda perda deve ser compensada com um ganho e todo ganho deve ser compensado com uma perda, de modo a manter estável o nível dessa substância. Na imaginação, vamos comparar isso com uma cisterna. Pense que ela tem uma quantidade de água (seu nível). Agora, vamos colocar uma pequena abertura no fundo da cisterna, por onde um pouco de água irá escoar. O nível da água irá modificar (para baixo, diminuindo). Nesse momento, imagine que uma torneira foi ligada e faz uma

pequena quantidade de água entrar na cisterna, fazendo agora o nível da água aumentar e voltar ao que era anteriormente. Se for mantida abertura do fundo, com o vazamento da água (perda), e simultaneamente a torneira aberta, com a entrada de água (ganho), o nível da água ficará estável, sem variação. A água estará sempre sendo trocada dentro da cisterna, mas o nível será o mesmo.

Figura 2: Esquema ilustrando as trocas entre o meio externo, o meio interno e a célula. No exemplo, o oxigênio (O_2) é captado e transportado até a célula onde é “consumido” na mitocôndria para a produção de ATP, gerando como resíduo dióxido de carbono (CO_2). O CO_2 é eliminado usando a via inversa até o meio externo. Atenção: a produção de ATP depende da disponibilidade de biomoléculas e de água, além de oxigênio. As estruturas ilustradas não conservam proporção de tamanho entre si.



Fonte: da autora

Quando uma molécula de oxigênio sai do LIC e entra na mitocôndria para a produção de ATP, é preciso que uma nova molécula ocupe o “lugar” anterior no LIC. Essa nova molécula virá do LEC-i, mas precisará ser substituída lá. Uma molécula de oxigênio sai do LEC-p e vai ocupar o “lugar” da anterior no LEC-i. Para repor a molécula que saiu do LEC-p, os animais usam algum tipo de respiração (cutânea, braquial ou pulmonar) e repõem o estoque dessa molécula. Isso também é verdade em relação aos resíduos. Quando expira-

mos, moléculas de CO₂ saem do LEC-p em direção ao meio externo. Isso abre espaço para as moléculas do LEC-i se deslocarem desse compartimento para o LEC-p. Uma vez que o LEC-i “perde” CO₂, as moléculas desse gás que estão no LIC podem então deixar a célula e ocupar o LEC-i (reveja a figura 2). Desse exemplo também é possível apreender que a direção do movimento das moléculas segue o que denominamos de gradiente. Esse termo dá a ideia de coisas que podem ter quantidades diferentes. Um compartimento pode ter mais oxigênio do que outro. Então, o gradiente é maior no primeiro e menor no segundo. A tendência é que as moléculas saiam do primeiro para o segundo – tecnicamente usamos a expressão: “o oxigênio segue o gradiente de sua pressão parcial”. O termo gradiente sempre significa do maior para o menor. Quando o movimento é o inverso, do menor para o maior, diz-se “contra” o gradiente.

Homeostase e os Mecanismos de Transporte

Os movimentos das substâncias entre os compartimentos são constantes, não param! Então sempre haverá perda e ganho nos compartimentos. No entanto, conforme a analogia da cisterna, se “congelarmos” um instante do tempo (como em uma foto), veremos que há água na cisterna em quantidade até seu nível. Assim precisa ocorrer com os nutrientes biológicos. Eles precisam ser mantidos dentro de níveis muito bem estabelecidos. E é isto que denominamos de homeostase. Esse conceito foi definido pelo fisiologista americano Walter Cannon em 1932 e significa a manutenção da estabilidade do meio interno.

Mas, nem todas as substâncias atravessam livremente de um compartimento para o outro, conforme o exemplo do oxigênio. Vamos lembrar que a célula é delimitada por sua membrana celular e

tudo que entra ou sai do citoplasma tem que passar pela membrana. Estruturalmente, ela é formada por duas camadas de lipídeos com proteínas inseridas entre eles. No nosso dia a dia, sabemos que o plástico é um material impermeável, porque não permite que a água passe por ele, não é? Já o papel é permeável a água e, se ele for molhado, ficará encharcado dela. A membrana celular é semipermeável. Isso significa que é permeável para algumas coisas (deixa passar por ela), mas outras não (por isso o prefixo semi, pela metade). O oxigênio atravessa facilmente a membrana, porque ele pode se difundir através dos lipídeos da membrana e, por isso, diz-se que a membrana é permeável ao oxigênio. A água também atravessa facilmente a membrana. Embora os lipídeos sejam gorduras (e água e óleo não se misturam!), existem proteínas que formam canais (semelhantes a poros) por onde a água pode passar livremente. Esses canais são denominados de aquaporinas.

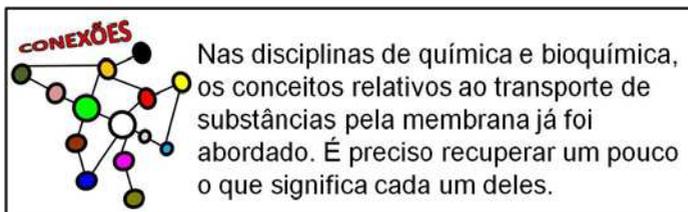


Fonte: da autora

A água e o oxigênio nos apresentam dois caminhos para atravessar a membrana celular: as proteínas transportadoras e a difusão passiva. Novamente é preciso estar atento que tudo isto é microscópico. As proteínas transportadoras podem formar canais por

onde passam substâncias pequenas (como a água e os íons). Alguns canais estão abertos sempre, como as aquaporinas. Os canais são seletivos, ou seja, específicos para uma dada substância. P.ex., pelas aquaporinas não podem passar íons de potássio. Mas existem canais abertos para esse íon. As substâncias que podem passar por canais abertos ou por difusão simples, são aquelas para as quais a membrana é permeável. Para as demais substâncias, a membrana é dita “impermeável”. Contudo, essas substâncias podem utilizar mecanismos de transporte para atravessar a barreira. É importante, do ponto de vista fisiológico, o fato de a membrana impedir o livre acesso de muitas substâncias ao interior da célula, mas permitir que esse acesso seja alcançado por outros mecanismos. Isso cria um controle que é explorado para muitos processos metabólicos.

O íon sódio tem baixa permeabilidade na membrana, mas



Fonte: da autora

pode atravessá-la a partir de canais que possuem “portas” e, por isso, estão fechados. Um canal

fechado tem algum mecanismo para ser aberto (uma “chave”). Independente de qual seja o mecanismo de abertura do canal, a travessia por um canal fechado irá durar mais do que um canal aberto – o tempo para os processos moleculares é medido em milésimos de segundo! Substâncias maiores (p.ex., a glicose) podem fazer uso de proteínas carreadoras. Em mais uma analogia, vamos comparar o funcionamento dessas proteínas a uma porta de controle de entrada em um banco.

As portas modernas dos bancos foram feitas para controlar a entrada de pessoas com objetos de metal (principalmente armas). Por isso, só uma pessoa pode passar por vez. A porta possui quatro espaços separados entre si. Um dos espaços fica voltado para o lado de fora do banco e outro, para o lado de dentro. Os outros dois ficam momentaneamente sem acesso, dentro do compartimento de segurança. Para entrar, uma pessoa se encaixa no espaço virado para o lado de fora do banco e, então, faz a porta girar, tornando agora aquele espaço virado para o lado de dentro do banco. Voltando às proteínas carreadoras, quando a glicose está no LEC-i, ela se liga a uma proteína denominada “glut”. Essa ligação faz a proteína “girar” para dentro da célula, levando consigo a glicose que está aderida a ela. Esse é um processo lento e que também depende de outros fatores. P.ex., nos músculos esqueléticos, a glicose só se liga à “glut” na presença do hormônio insulina. Assim como o oxigênio, a glicose segue seu gradiente de concentração. Quando ela estiver em maior quantidade no LEC-i, ela seguirá para o LIC. Esse processo, nesse caso, é denominado de difusão facilitada, porque envolve o auxílio da proteína carreadora. Para o oxigênio, a difusão é passiva, porque não precisa do auxílio de transportador.

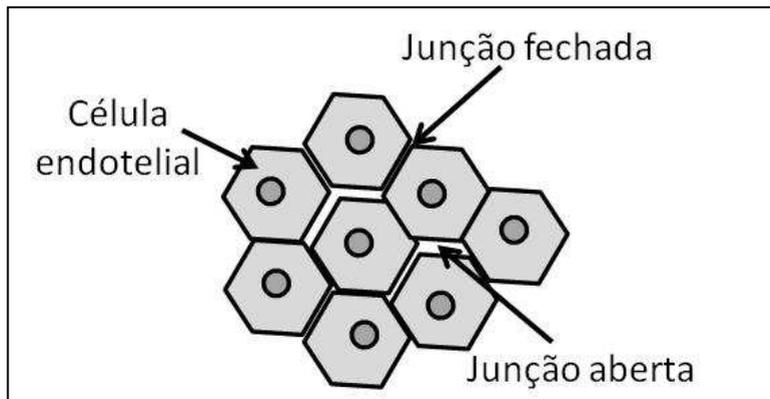
O oxigênio e a glicose são solutos cujo movimento de difusão segue o gradiente da substância. Embora o transporte da água seja livre pelas aquaporinas, o movimento dela está relacionado à quantidade dos solutos, um processo chamado de osmose. Nesse caso, a água sairá do ambiente mais concentrado para o menos concentrado. Considerando uma microscópica área de tecido, a quantidade de LEC sempre será inferior à soma de todos os LICs das células ali presentes. Mas, se os movimentos das substâncias levarem uma grande quantidade de solutos a entrar nas células, uma parte da

água do LEC sairá dele para o LIC – a célula ficará mais “cheia” (turgida) e corre risco de se romper (lise). Por outro lado, se houver muitas substâncias dissolvidas no plasma sanguíneo, ou seja, ele estará concentrado, a água do LEC-i sairá de lá para o LEC-p. Como o espaço intersticial terá menos água, ficará concentrado e então isso ocasionará a saída de água do LIC para o LEC-i. O resultado é que a célula poderá perder muita água e murchar, correndo o risco de plasmólise. Então, a quantidade de água precisa ser mantida estável nos três compartimentos. Claro, para isso, é preciso controlar a quantidade dos solutos em cada um deles. Ambos os casos significam manter a homeostase.

Até o momento, abordamos a travessia das substâncias do interstício para o citoplasma e vice-versa, através da membrana celular. Mas também é necessária uma travessia do plasma para o interstício, atravessando a parede do capilar. O capilar é um vaso sanguíneo que, como tal, tem um formato que nos sugere um cilindro (ou um cano). Atenção: microscópico! Ainda que de tamanho minúsculo, esse cilindro é também formado por células que estão organizadas constituindo essa “parede”, denominada de endotélio (figuras 3 e 4). A membrana de cada célula fica tão próxima da outra que pode formar junções fechadas, de modo que não haja espaço entre as células. Em alguns locais, as membranas podem estar afastadas e formar junções abertas (ou fendas). O tamanho e a quantidade dessas aberturas variam conforme o local onde o capilar está no corpo do animal – p.ex., no rim, para que ocorra a filtração do sangue, os capilares possuem muitas junções abertas. Por essas aberturas podem passar as biomoléculas, resíduos e água, processo denominado de filtração e que será abordado no terceiro capítulo. Os gases (oxigênio e CO₂) tem a facilidade de se difundir também por entre as células

endoteliais.

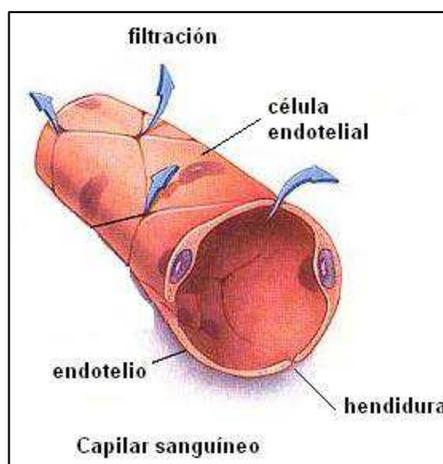
Figura 3: Representação da organização das células endoteliais que formam a parede do capilar, com suas junções fechadas e abertas.



Fonte: da autora

Compare a representação da figura 3 com a imagem de ilustração da figura 4, a seguir. Observe que na figura 3 o objetivo foi demonstrar as junções e não o formato em si do capilar, o que pode ser visto na figura 4.

Figura 4: Ilustração do capilar sanguíneo. Hendidura significa “fenda” ou abertura e corresponde às junções relatadas no texto.



Fonte: http://www.genomasur.com/BCH/BCH_libro/imagenescap_5/capi.JPG

Variáveis Fisiológicas e Faixa Homeostática

Compreendidas as condições para o movimento dos ingredientes entre os compartimentos do corpo, agora vamos retomar o conceito de homeostase, trazendo novamente o exemplo da cisterna. Naquele exemplo, há um ponto de saída (a abertura em baixo) e um ponto de entrada (a torneira). Embora a quantidade de água se mantenha estável ao longo do tempo, ela não é fixa. A diferença é importante. Se houver variação na velocidade ou o volume de água que saia pela abertura ou na que entre pela torneira, em algum momento poderá ter menos ou mais água dentro da cisterna. No animal, isto é verdade para os momentos de jejum e de alimentação, p.ex. Ao se alimentar, a quantidade de biomoléculas disponíveis para a produção de energia no meio interno será maior quando comparada a algumas horas após a ingestão (o momento de jejum). A redução dos níveis dos nutrientes no meio interno impulsiona os animais na busca pela reposição deles, com a exploração do ambiente para procurar alimento, além da sensação de fome e de sede, no caso do homem. Obviamente, há um LIMITE para essas variações, para cima e para baixo. Se o animal não se alimentar por muito tempo, ele entrará no processo de desnutrição, uma condição de quebra de sua homeostase. A partir do exemplo da cisterna, reflita o que pode acontecer: se faltar água por muito tempo? Se jorrar muita água por muito tempo?

Assim, o desafio dos animais é manter as variáveis fisiológicas (os nutrientes e outras medidas que veremos abaixo) dentro de valores de estabilidade que chamamos de faixa homeostática. Essa faixa é o intervalo entre os menores e os maiores valores dos níveis das variáveis, dentro do qual a célula ainda consegue manter sua atividade. Acima ou abaixo desse intervalo, as células perdem a ca-

pacidade de manter corretamente o seu metabolismo. Nesses casos, diz-se que a homeostase foi interrompida ou quebrada. E, quando isso ocorre, surgem as doenças. P.ex., o valor de estabilidade aceito para a glicose humana é 90 mg/dL, mas a faixa homeostática vai de 75 a 95 mg/dL. Abaixo e acima desses valores, o nível da glicose já afetará a função das células, gerando doenças.

Além da água, do oxigênio, dos carboidratos, dos lipídeos e das proteínas, também são nutrientes os íons de sódio, de potássio e de cálcio. Todos precisam ser mantidos em níveis extremamente estáveis no meio interno. Os nutrientes dependem da ingestão (ou nutrição), sendo retirados do meio externo e distribuídos para o meio interno. Outras variáveis fisiológicas são produzidas dentro do corpo. Conforme o descrito acima, o movimento dos solutos nos compartimentos do corpo promove o movimento da água por osmose. Os três compartimentos precisam se manter equilibrados em termos de concentração de solutos, o que é tecnicamente denominado de osmolaridade. Conforme descrito anteriormente, muita água ou pouca água são condições perigosas para as células. As reações metabólicas dentro da célula ocasionam a produção de calor e por isso os animais homeotermos tem temperatura independente do ambiente. Mas essa temperatura precisa ser mantida dentro de limites também estreitos, porque as proteínas não respondem bem a altas ou baixas temperaturas. Por fim, entre outros resíduos metabólicos, íons de hidrogênio são produzidos continuamente e este é um elemento que em grande quantidade afeta muitas reações celulares e causa grandes prejuízos ao equilíbrio do meio interno. A quantidade desses íons é medida pelo pH – quanto maior a quantidade de H^+ , mais ácido é o meio e o pH é menor que 7,5; em oposição, quanto menor a quantidade, mais básico é o meio e o pH é maior que 7,5. No capítulo so-

bre circulação de substâncias no corpo, veremos que a pressão arterial também é uma variável fisiológica que precisa ser controlada homeostaticamente. É importante observar que a água, a temperatura e o pH sofrem o mesmo balanço de massa dos nutrientes: se houver aumento, tem que ocorrer perda; se houver perda, tem ocorrer aumento, para que sejam mantidos dentro da faixa homeostática.

Sistemas Fisiológicos e *Feedback*

A questão é como um animal, com milhões de células, consegue saber se todas essas variáveis estão dentro da faixa de homeostase. E também, como realizar esse equilíbrio de perda ou ganho. Ou seja, considerando o corpo como uma cisterna, o que seria a torneira e a abertura do fundo? É aqui que entram os sistemas fisiológicos. Facilmente reconhecemos os sistemas envolvidos com a reposição das variáveis: o digestório (que obtém água, íons e biomoléculas) e o respiratório (que obtém oxigênio); e com a eliminação de excessos: o digestório (que elimina resíduos metabólicos e da alimentação via fezes), o respiratório (que elimina CO₂) e o renal (que elimina a maioria dos resíduos metabólicos que estão no sangue, via urina). Esses são sistemas que se concentram em alguma parte do corpo do animal. Mas, os produtos de ingestão precisam chegar a todas as células, além daquelas que constituem esses sistemas. Bem como os resíduos, produzidos por células de outros sistemas, precisam chegar até os órgãos excretores. Por isso, fundamental é o sistema cardiovascular (algumas vezes denominado de circulatório). Ele que faz o transporte dessas substâncias (nutrientes e resíduos) ao longo de todo o corpo.

Mas é o sistema nervoso que faz o papel de identificar, controlar e acionar as correções necessárias para a manutenção da ho-

meostase. Uma função que envolve coordenar os demais sistemas. Ele também é o responsável por promover comportamentos, permitindo ao animal interagir adequadamente com seu meio externo.



Fonte: da autora

Para exercer a sua função de coordenação, o sistema nervoso tem que ser “capaz” de medir o nível das variáveis fisiológicas, avaliar se elas estão dentro da faixa homeostática e acionar mecanismos para corrigir as distorções, caso elas existam. Para medir, o sistema nervoso usa sensores. A correção é resultado da atuação de efetores.

São sensores do sistema nervoso os receptores sensoriais viscerais (há receptores externos, veremos adiante). Eles medem aspectos do meio interno que sinalizam o nível das variáveis fisiológicas. Os receptores sensoriais externos ou especiais (como olhos, ouvido, etc.) vão participar da organização do comportamento. É importante ter em mente que o nível das variáveis é medido nos compartimentos do LEC (LEC-p e LEC-i). Esses são os “fornecedores” das células. Uma vez que as variáveis dentro desses compartimentos estejam controladas, o nível delas no LIC também estará. Lembre que os nutrientes e os resíduos seguem o balanço de massa.

Os receptores se comunicam por via dos nervos aferentes (ou sensitivos) com as regiões do sistema nervoso central - SNC (a medula e o encéfalo), áreas recebem informações de várias regiões

e podem “decidir” se a variável está alterada. O SNC, também através de nervos (eferentes ou motores), se comunica com as estruturas dos sistemas envolvidos com a ingestão ou a eliminação de resíduos, acionando uma resposta para compensar a alteração medida inicialmente. Essas estruturas são denominadas de efetores, porque realizam efetivamente a resposta de correção. Os efetores que controlam o meio interno são os músculos liso (que formam as vísceras) e as glândulas endócrinas (o sistema endócrino) e as glândulas exócrinas. Esses efetores trabalham em “soluções” imediatas, que podem ser realizadas apenas com o que estiver disponível dentro do meio interno.

Para repor os nutrientes ao meio interno, é preciso que o sistema nervoso acione comportamentos (comer, beber, se proteger, respirar, etc.). Os comportamentos dependem dos músculos esqueléticos, ou seja, do sistema muscular-esquelético que permite o movimento do corpo. Mas, também dependem de sensores que informem ao SNC o que está ocorrendo no meio externo, permitindo a localização do animal no seu espaço físico e social. Muitos sensores externos estão na pele, o sistema tegumentar, e outros são reunidos em órgãos sensoriais, permitindo o fenômeno da sensibilidade.

O sistema endócrino produz hormônios que atuam na homeostase mais imediata. Mas é esse sistema que permite uma homeostase “de longo prazo”. Ou seja, a regulação das perdas e ganhos conforme a idade do animal, acionando os mecanismos que promovem o desenvolvimento do corpo. Esse desenvolvimento prepara o animal para a reprodução e, como veremos no final do livro, a produção das células germinativas e a diferenciação do corpo em relação ao sexo, é responsabilidade do sistema endócrino.

Na descrição acima, em síntese, a função do sistema nervoso é monitorar, via receptores sensoriais, a integrar as informações no SNC e produzir respostas imediatas, através dos efetores (glândulas e músculo liso), ou respostas comportamentais, usando os receptores da pele e dos órgãos sensoriais e acionando o músculo esquelético (que é o efetor, nesse caso). O conjunto de captação, integração e resposta representa o que denominamos de *feedback* (no português, alças de retroalimentação). Uma analogia muito oportuna para descreve o funcionamento de um *feedback* é o aparelho de ar-condicionado.

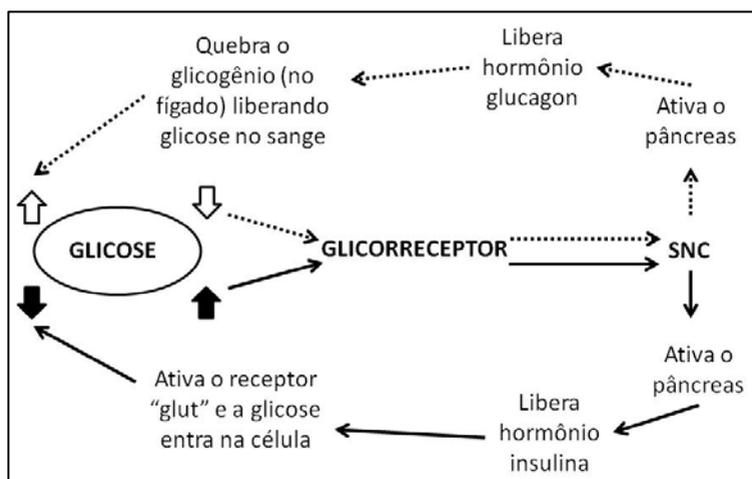
Nesse aparelho, existem sensores que medem a temperatura do ambiente. Conforme a definição do usuário, a temperatura deverá ficar em um nível (p.ex., 23°C). O sensor mede o que está ocorrendo no ambiente e envia essa informação para um “centro” de comando (um circuito eletrônico que compara as medidas do sensor e a que foi definida). Quando a temperatura estiver acima do previsto, esse circuito eletrônico ativará o compressor (um motor que irá refrigerar o ar). O compressor ficará ligado até que o sensor capte uma medida de temperatura que seja igual àquela desejada pelo usuário. Nesse momento, o centro de comando desligará o motor.

Um *feedback* é um ciclo. Começa com a medição da variável, segue com a avaliação dela e, caso esteja fora da faixa homeostática, será acionada uma resposta que atuará sobre a variável. Essa atuação, no final, irá alterar a medida do início (figura 5). O mais comum na fisiologia dos animais é o *feedback negativo*. Ele ocorre quando uma variável fisiológica é identificada fora na faixa homeostática, p.ex., a glicose. Se ela estiver abaixo do nível, os glicorreceptores enviam sinais para o SNC. O SNC ativa o pâncreas (uma glându-

la mista: endócrina e exócrina) a produzir o hormônio glucagon. Este hormônio irá atuar no fígado, quebrando o glicogênio e com isso liberando a glicose para o sangue. Assim, após essa resposta, o nível da glicose irá aumentar, voltando ao nível homeostático. Se a glicose estiver acima do nível, o SNC ativará o pâncreas para este produzir insulina (outro hormônio). A insulina, como já apontado, ativa o transportador “glut” e com isso a glicose que está no LEC-i pode entrar na célula. O aumento da captação de glicose pelas células leva à redução do nível dela no sangue. Observe: a medida inicial da variável será oposta à medida final (se estiver alta, ficará baixa; se estiver baixa, ficará alta). Por isso é denominado negativo (veja a figura 5).

Existem poucos *feedbacks* positivos. Nesse caso, o efeito dos efetores será na mesma direção que a medida da variável (se estiver alta, o efector fará ficar mais alta; se estiver baixa, ficará mais baixa). O *feedback* positivo forma um ciclo vicioso que precisa ser interrompido por um *feedback* negativo, senão pode levar à morte.

Figura 5. Esquema ilustrando o *feedback* negativo para o controle da glicose. As setas largas colocadas ao lado da elipse representam as medidas da glicose no início do *feedback* (seta branca, quando o nível está baixo e seta preta, quando o nível está alto). Essas setas aparecem também no fim do *feedback*, mas observe que agora estão em sentido contrário.



Fonte: da autora

**exercite
sua mente**



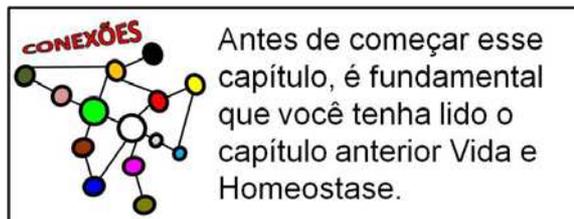
Por que energia significa vida?
O que é o meio interno?
Qual a definição de homeostase?
Quais são os sistemas fisiológicos?
Como cada sistema fisiológico
participa na homeostase?

Fonte: da autora

2. OBTENÇÃO DE NUTRIENTES

Nutrientes

Ao iniciar esse capítulo, é fundamental retomar a compreensão de nutrientes. No senso comum, nutriente é aquilo que consideramos existir nos alimentos, o que nutre. Quando um animal se alimenta de algo em seu ambiente, na maioria dos casos, existe ali substâncias que servem para esse animal produzir sua energia, permitindo seu crescimento e sua sobrevivência. As exceções ocorrem devido à poluição do meio ambiente feita pelo homem, principalmente com materiais sintéticos (como o plástico). Estes terminam sendo consumidos equivocadamente pelos animais e provocam a morte deles.



Fonte: da autora

A produção do ATP nas mitocôndrias das células, a maior fonte de energia dos animais, ocorre quando alguma biomolécula (carboidrato, lipídeo e proteína) se combina com oxigênio (O_2), utilizando a água para as reações metabólicas. Esse processo é denominado de respiração celular ou respiração aeróbia. Atenção: o termo respiração está sendo aplicado para uma organela celular, num processo molecular. O processo das trocas de gases com o meio externo (O_2 por CO_2) também é denominado de respiração, nesse caso, sem a qualificação de “celular”.

Na ausência de O_2 , as células podem produzir muito pouco

ATP, processo denominado de respiração anaeróbia ou fermentação. Algumas bactérias e fungos só usam esse tipo de produção de energia. Em essência, a fermentação é uma etapa metabólica que ocorre antes do início do metabolismo dentro da mitocôndria, o qual utiliza o O_2 para gerar uma grande quantidade de ATP.

Desse modo, do ponto de vista da produção de energia, a referência a nutriente deve incluir o oxigênio e a água, embora no conhecimento popular eles não sejam comumente incluídos dessa forma. No caso do O_2 , talvez isto ocorra porque os animais captam esse gás por um sistema fisiológico diferente daquele por onde obtém os demais nutrientes e a água.

As biomoléculas também são conhecidas como macronutrientes. São eles: os carboidratos ou açúcares, constituídos por glicose, os lipídeos ou gorduras, constituídos em sua maioria por ácidos graxos e glicerol, e as proteínas, constituídas por aminoácidos. Os macronutrientes fornecem a base para a produção do ATP e por isso precisam ser consumidos em grandes quantidades diariamente. Mas eles também são a base para a “forma” ou estrutura dos animais, uma vez que estão na estrutura da célula. Lembrando, a membrana celular é formada por lipídeos e proteínas. As membranas intracelulares, que formam as organelas e o núcleo celular, também são formadas pelos macronutrientes. Estruturas celulares, como as miofibrilas dos músculos, são combinações de proteínas.

Um grande conjunto de substâncias é denominado de micronutrientes: as vitaminas e os minerais (p.ex. os íons de cálcio, de sódio e de potássio). A necessidade de consumo desses micronutrientes é pequena, porém precisa ser constante. Eles não participam diretamente da produção de energia, mas estão associados às rea-

ções metabólicas da célula e à manutenção das estruturas celulares. Além dessas funções, alguns íons são estruturais. P.ex., o íon de cálcio está na constituição das estruturas do exoesqueleto (carapaças) e dos ossos.

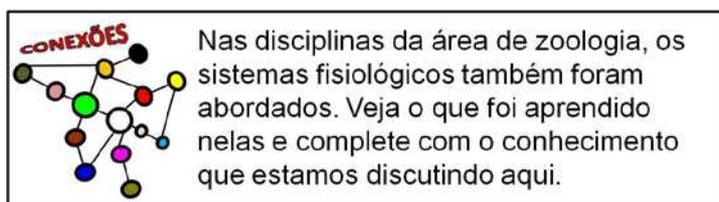
Para sobreviver, os animais precisam ser capazes de obter o oxigênio, a água, os macro e os micronutrientes. Ou seja, conseguir identificar os alimentos, os lugares onde estes se encontram e também, ter capacidade para ingerir esses alimentos. Isto se expressa no comportamento dos animais. O sistema nervoso, através de suas estruturas sensoriais (órgãos sensitivos) e do comando do sistema locomotor (muscular-esquelético), permite aos animais a expressão desses comportamentos.

Obtenção de Oxigênio e Sistemas Respiratórios

A obtenção do O_2 envolve diferentes estratégias conforme o ambiente em que o animal vive: terrestre, aquático ou aéreo. As estruturas envolvidas com essa obtenção constituem o sistema respiratório, responsável por levar o O_2 do meio externo para o meio interno. Em todos os sistemas possíveis, a captação de O_2 ocorre sob a troca do dióxido de carbono (CO_2), com a eliminação desse resíduo, utilizando o caminho inverso do sistema. Por isso, muitos livros trazem esse conteúdo com o título de TROCAS GASOSAS. E também por esse fato, o sistema respiratório serve à homeostase tanto para ingestão quanto para excreção (reveja a figura 2 no capítulo anterior).

Alguns animais pequenos, como as minhocas, que vivem dentro da terra, usam o sistema de respiração cutânea. Cútis é sinônimo de pele, desse modo, esses animais capturam o O_2 , através da pele. Isso é possível porque a pele é úmida, permitindo ao O_2 que está naquele ambiente, “grudar” no corpo do animal. Facilmente o O_2 atravessa as células da pele e, por difusão, é repassado para as demais células. No texto do capítulo anterior foi abordado que os gases se difundem seguindo o gradiente da pressão parcial do gás. Assim, quando as células da superfície da pele ficam abastecidas de O_2 , as células imediatamente próximas a elas (e que estão com menos O_2) começam a receber o gás. A difusão é útil para animais cujo interior do corpo não seja tão volumoso, comparado à cobertura de pele, já que o “repasso” de uma célula a outra é muito lento! Reflita: considerando um boi, quanto tempo levaria para as células do estômago desse animal receber o O_2 , caso o sistema utilizado fosse a respiração cutânea?

Outros animais pequenos, p.ex., os insetos, desenvolveram



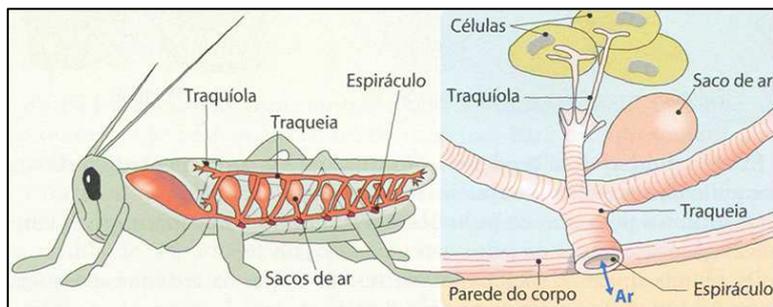
Fonte: da autora

um sistema de tubos internos (traqueias), que comunicam o meio externo

com porções internas do corpo, constituindo o sistema de respiração traqueal. Esses tubos possuem uma abertura na parte externa do corpo do animal (espiráculos), por onde o ar entra e sai (figura 6). Internamente os tubos se ramificam várias vezes, permitindo acesso do ar às diferentes partes do corpo. O ar do ambiente preenche as traqueias e o O_2 presente nesse ar consegue atravessar as células

que formam a parede dos tubos. Por difusão o O_2 alcança as células vizinhas, pouco a pouco. Muitos insetos usam movimentos do corpo (ou de parte dele) para “renovar” o ar presente nas traqueias, contribuindo para maior eficiência das trocas dos gases. Uma vez que existem muitos tipos diferentes de insetos, existem variações nas estruturas e no tipo do sistema respiratório deles.

Figura 6. Ilustração do sistema respiratório traqueal. Observe que as traqueias se ramificam em traquíolas e que existem sacos de ar ligados às traqueias – estes são estruturas que armazenam oxigênio e também ajudam no equilíbrio durante o voo, para insetos aéreos.



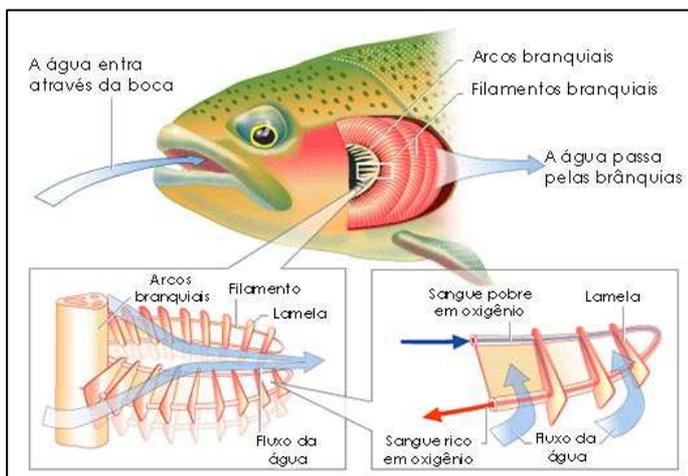
Fonte: <http://bioblogabr.blogspot.com.br/2014/06/trocas-gasosas-em-seres-multicelulares-1.html>

A maioria dos peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos desenvolveram uma combinação entre o sistema respiratório e o sistema circulatório, através dos vasos capilares (o sistema circulatório será abordado no próximo capítulo). Com isso, as estruturas respiratórias ficaram concentradas em algum local do corpo e se especializaram no mecanismo de retirar o O_2 do meio externo (e liberar o CO_2), a troca que tecnicamente é denominada de hematose. Enquanto isso, o sistema circulatório, através do sangue (LEC-p), passou a realizar o transporte dos gases no corpo, aumentando a velocidade de distribuição desse nutriente.

No ambiente aquático, o desafio é retirar o O_2 da água. Mui-

tos dos animais que vivem nesse ambiente desenvolveram a respiração branquial. As brânquias constituem o órgão respiratório que está organizado para retirar o O_2 da água e enviar para o sangue. Facilmente visível nos peixes ou nos crustáceos de consumo humano, esse órgão é constituído de arcos atravessados por várias fileiras de pequenas lâminas ou filamentos (pequenas folhas) de membranas. Microscopicamente, no interior dessas lâminas, estão os capilares. O funcionamento desse órgão será ilustrado pelo comportamento respiratório do peixe ósseo (figura 7).

Figura 7: ilustração do sistema respiratório branquial em um peixe ósseo. Observe a figura e compare com a explicação do texto.



Fonte: http://diariodebiologia.com/2010/09/como-so-peixes-respiram-na-agua/#.VOjmx_nF-So

Ao abrir e fechar a boca, o peixe impulsiona a água para dentro e para trás na direção do opérculo, por onde a água sairá. Embaixo do opérculo estão as brânquias. Para compreender o funcionamento da brânquia, imagine o arco branquial como um U de cabeça para baixo. Em cada uma das pernas do U há capilares. A água passa primeiramente em uma das “pernas”, quando o O_2 sai da

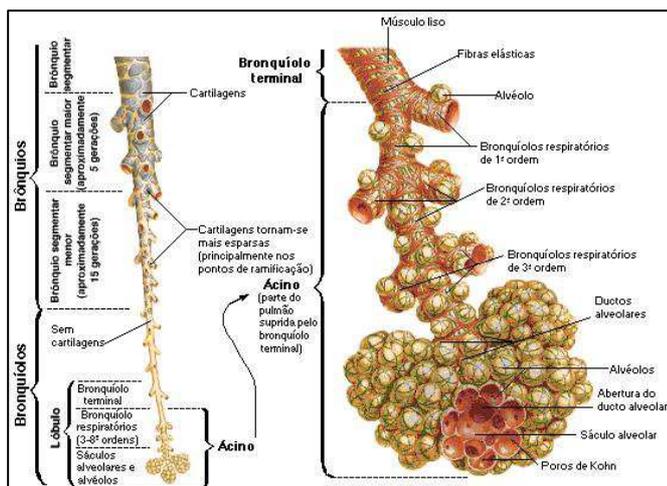
água e entra no capilar. Na sequência, ao passar pela segunda “perna” do arco, o CO₂ do sangue sai do capilar para a água. A brânquia está ajustada para retirar o O₂ da água, por isso, em contato com o ar, ela não consegue realizar sua função e o peixe fora da água morre, mesmo havendo O₂ no ar (figura 7).

Quase todos os vertebrados utilizam a respiração pulmonar. Nesse sistema, os pulmões (são dois) estão localizados dentro do corpo e mantém contato com o meio externo através das narinas e da traqueia. A traqueia dá origem aos brônquios (já dentro de cada pulmão) que se ramificam várias vezes formando os bronquíolos. Estes terminam num conjunto de microscópicos sacos, os alvéolos (figura 8). Obviamente, da traqueia até os bronquíolos o diâmetro do espaço por onde passa o ar vai reduzindo drasticamente. O conjunto de bronquíolos e alvéolos se assemelha a um cacho de uvas. O alvéolo é recoberto (por fora) por muitos capilares. Se um pulmão contém milhares de alvéolos, que são cobertos por muitos capilares, então, pode-se dizer que este é um órgão extremamente vascularizado.

Os pulmões são estruturas flexíveis, isto permite o movimento do ar ao longo do sistema. Se os pulmões fossem rígidos, o ar entraria e preencheria os espaços do sistema respiratório (traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos) e permaneceria ali parado, não haveria movimento de entrada ou saída. Para compreender isto, pegue um saco plástico e deixe entrar algum ar dentro do seu espaço. Depois feche a abertura de forma firme. O ar que estiver dentro do saco permanecerá lá sem nenhuma modificação, a não ser que o saco seja furado. Agora, se você pressionar alguma parte do saco, verá que o ar foi movimentado de um espaço para outro. O movi-

mento ocorreu porque o plástico é flexível e também porque houve uma mudança na “pressão” de alguma parte daquele espaço (o saco). Quando se aperta o saco plástico cheio de ar, no local do aperto, a pressão estará maior do que nas outras regiões. O ar sai dali e vai para o local com menor pressão (o que percebemos como o enchimento de ar nesta área). Se o recipiente no qual o ar estiver for rígido, não será possível modificar a pressão em alguma parte dele. Com isso, não haverá movimento do ar.

Figura 8: Ilustração de um ramo de brônquio, no lado esquerdo da figura, se modificando em bronquíolo até a formação dos alvéolos no ácino, o qual é ampliado no lado direito da figura. As finas linhas que estão sobre os alvéolos (as pequenas bolinhas) representam as fibras elásticas deles. Observe que também há fibras elásticas na porção do bronquíolo terminal e que os capilares que recobrem os alvéolos não estão representados.



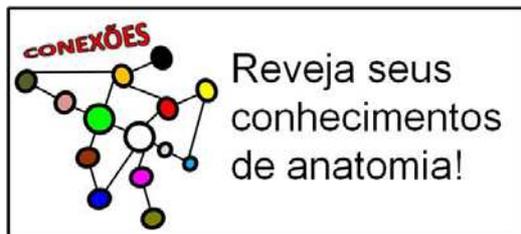
Fonte: <http://www.auladeanatomia.com/respiratorio/sistemarespiratorio.htm>

Os alvéolos são estruturas flexíveis devido ao tipo de tecido que dá forma a eles, que são fibras elásticas. Imagine o elástico de sua roupa. Quando usamos a força de nossos braços, esticamos a roupa (abrindo). Quando soltamos o elástico, ele encolhe juntamente com a roupa (fechando). As fibras elásticas do alvéolo realizam o mesmo trabalho. Quando os alvéolos são esticados, o ar entra, por-

que a pressão nele diminuiu (haverá mais explicações no próximo tópico). Tecnicamente, quando o alvéolo é inflado (estirado), diz-se que isso ocorre devido à propriedade que essa estrutura tem de complacência (permitir que seja estirado). O retorno ao tamanho original, assim como o elástico, é devido à propriedade de elastância. Vamos explicar como o ar entra no sistema respiratório pulmonar através do exemplo humano.

Mecânica Respiratória Humana

Anteriormente, descrevemos que o ar se movimenta de um local com maior pressão para outro de menor pressão. Então, para o ar entrar nos alvéolos, e eles se expandirem, é necessário criar essa “condição” de menor pressão do espaço dentro do alvéolo em relação ao meio externo. Esse processo é denominado de mecânica respiratória. Para compreendê-lo, é preciso entender como o pulmão está inserido dentro do corpo e conhecer as estruturas relacionadas a ele.

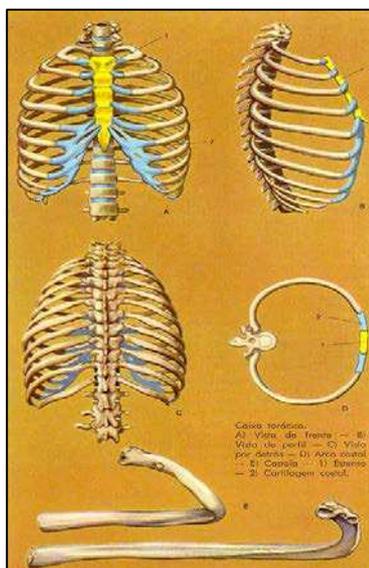


Fonte: da autora

De forma bem simplificada, o corpo humano é um conjunto de “corpo” e apêndices: pescoço-cabeça, braços e pernas. Esse “corpo” pode ser dividido em tórax (peito), abdome (barriga) e pelve (ventre). Internamente, o tórax é delimitado por um conjunto de ossos e músculos que formam a caixa torácica (figura 9). Entre os ossos, destacamos as costelas. Há músculos que são exteriores (e muito visíveis) como o peitoral, e outros mais internos, como os músculos intercostais externos e os intercostais internos, que estão

inseridos entre as costelas. O tórax é separado fisicamente do abdome pelo grande músculo: o diafragma (figura 10). O diafragma é o principal músculo da respiração. Os demais músculos são denominados de músculos respiratórios acessórios.

Figura 9: Ilustração da caixa torácica a partir de vários ângulos de visão. A figura A (superior esquerda) é a visão de frente, na qual se observa o osso esterno, em amarelo, e as cartilagens costais, em azul (referências que se repetem nas outras imagens); em B (superior direita), vista de perfil ou de lado; em C (centro esquerdo), vista de costa; em D (centro direito) está o arco costal – esterno, cartilagens, costelas: direita e esquerda ligadas à coluna vertebral; em E (inferior), são ilustrados dois ossos de costelas isolados.



Fonte: <http://www.sogab.com.br/floresdias/torax.htm>

É importante lembrar que as costelas estão ligadas ao osso esterno por cartilagens (um tecido flexível). Além disso, lembrar que qualquer músculo recebe esse nome porque é uma estrutura que pode contrair, ou seja, reduzir seu tamanho – ao qual retorna após “relaxar”, ou seja, deixar de se contrair. Os músculos esqueléticos são aqueles ligados ao esqueleto (os ossos). Quando um músculo esquelético se contrai, ao diminuir seu tamanho, ele “puxa” as estru-

turas ósseas onde ele está ancorado por ligamentos, com isso elas se movem. Assim, quando os músculos intercostais externos se contraem, eles puxam as costelas para cima – o que aumenta o tamanho do tórax horizontalmente. Inversamente, quando os intercostais internos se contraem, eles puxam as costelas para baixo, retornando ao local inicial e, com isso, ao tamanho normal do tórax. Para lembrar: os externos puxam para fora, aumentando; os internos puxam para dentro, diminuindo ou puxando de volta ao lugar.

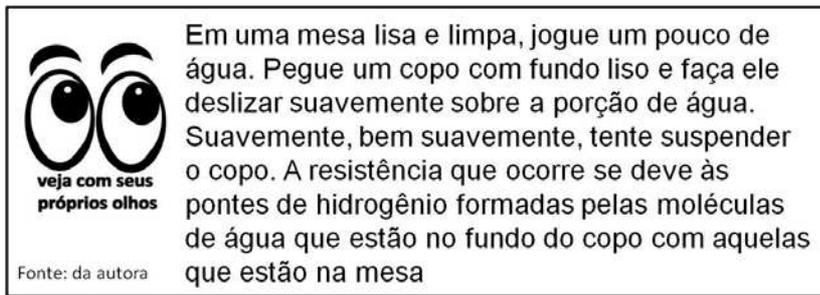
O diafragma também é responsável por aumentar e reduzir a caixa torácica, só que no sentido vertical. Esse músculo tem um formato de abóbada ou cúpula, com abertura voltada para baixo, em direção ao abdome. Quando o diafragma se contrai, ele assume um formato mais retilíneo. Popularmente é dito que ele desce ou se abaixa. É possível fazer uma analogia com um chapéu de vaqueiro nordestino. A contração seria como se alguém estivesse amassando a cocuruta do chapéu, empurrando para dentro. A contração do diafragma tem efeito no tamanho da caixa torácica porque ao se tornar mais retilíneo, ele aumenta o espaço do tórax, à custa de adentrar no abdome, diminuindo esse espaço (veja a figura 10 adiante).

Os pulmões estão dentro da caixa torácica, um de cada lado. O coração também está nessa região mais ou menos no meio. Além deles, ali também pode ser encontrada a traqueia, o esôfago, vasos e nervos. Os pulmões estão dentro de uma membrana dupla (semelhante a um saco), a pleura. Ela é dupla porque tem uma parte (ou camada) virada para fora – pleura parietal – e outra virada para dentro – pleura visceral. É possível uma analogia com uma roupa que tem forro, como um casaco de frio acolchoado. O tecido que aparece por fora seria a pleura parietal, enquanto o forro seria a pleura visce-

ral. No casaco, entre o tecido de fora e o forro, há um enchimento de material de poliéster. Voltando ao pulmão, entre as pleuras, parietal e visceral, há o líquido pleural.

A pleura parietal está ligada ou aderida às costelas, com seus músculos intercostais, e ao diafragma. Desse modo, quando os músculos intercostais externos se contraem e elevam as costelas e quando o diafragma se contrai, adentrando ao abdome, a pleura parietal vai junto! Ou seja, ela é esticada. Ocorre que as estruturas pulmonares que precisam ser estiradas são os alvéolos. Para que o movimento de ampliação da caixa torácica providenciado pelos músculos chegue até os alvéolos, vamos precisar compreender a relação entre o líquido pleural e as pleuras.

O líquido pleural tem constituição semelhante ao líquido intersticial (LEC-i) e funciona como um lubrificante que permite o deslizamento das pleuras uma sobre a outra sem causar atrito. A quantidade de líquido pleural deve ser mínima. Qualquer aumento do líquido gera doenças como, p.ex., o derrame pleural. Essa finíssima camada de líquido garante uma ligação entre as duas pleuras e a integração do movimento delas. Isto é possível a partir das ligações químicas das moléculas de água presente no líquido, que formam pontes de hidrogênio. Essas pontes são bastante fortes. Um exemplo é a água da superfície de um tanque ou uma piscina. A aparência é quase de um vidro. Uma pessoa que caia sem aviso na piscina, p.ex., de costas, pode sentir um impacto como se fosse contra um objeto resistente e não água. Isso se dá porque as moléculas de água da superfície formam pontes de hidrogênio.

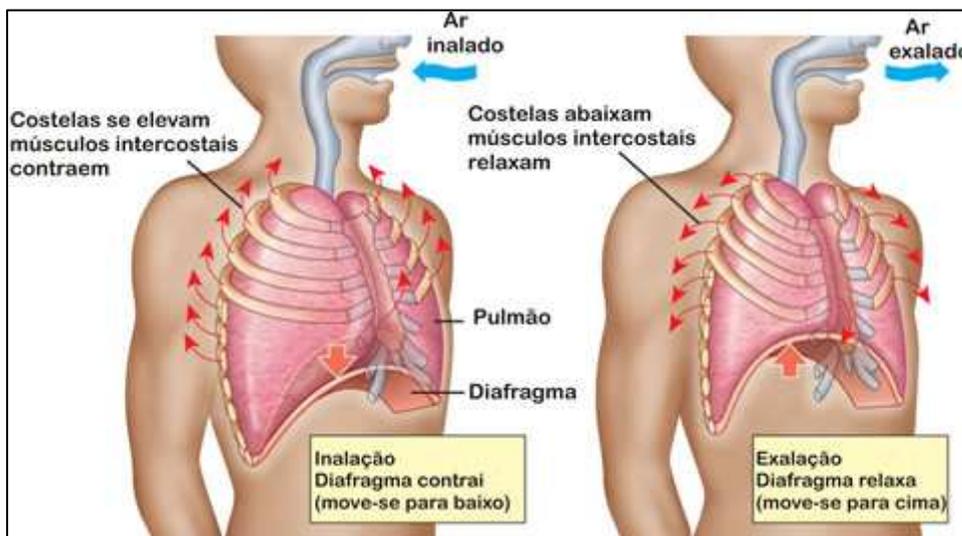


Pois bem, ao esticar, a pleura parietal puxa a pleura visceral através das pontes de hidrogênio possibilitada pelo líquido pleural. Como resultado, estica os alvéolos, já que eles são complacentes. O pulmão como um todo aumenta de tamanho e faz com que a pressão dentro dos alvéolos fique menor do que no ambiente externo. O ar é então “atraído” para dentro do pulmão pelo seu gradiente de pressão, no processo de inspiração (ou inalação) (figura 10). Quando os intercostais externos e o diafragma relaxam e os intercostais internos se contraem, as costelas voltam ao seu lugar juntamente com pleura parietal, e traz com ela a visceral, reduzindo o tamanho do pulmão e expulsando o ar para fora do sistema, no processo de expiração (ou exalação) (figura 10). Inspiração e expiração são fases do ciclo ventilatório ou ventilação, a primeira etapa do processo de respiração.

A contração dos músculos na ventilação faz, mecanicamente, o tamanho da caixa torácica ampliar (inspiração) ou reduzir (expiração) seu tamanho. Esses são os movimentos respiratórios. Durante o dia quando estamos quietos ou durante o sono, esses movimentos são mantidos basicamente pela contração e relaxamento do diafragma. Por isso esse músculo é tão importante na respiração. No repouso, o adulto saudável produz de 12 a 18 ciclos de ventilação por minuto. Durante o exercício ou quando buscamos fôlego, a fre-

quência dos ciclos aumenta (e muito!) e a profundidade da respiração também, porque são acionados os músculos acessórios. Na inspiração profunda, além do diafragma, podem ser contraídos os intercostais externos, o esternocleidomastoideo, o peitoral e os escalenos. Na expiração profunda, podem ser contraídos os intercostais internos e os músculos abdominais.

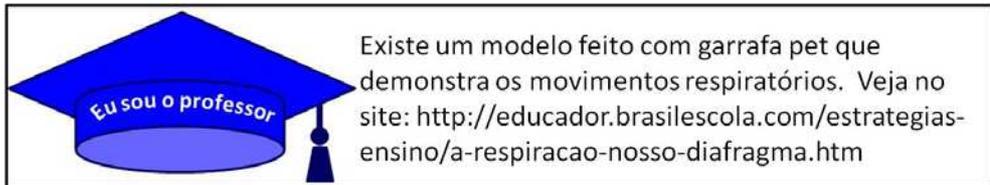
Figura 10: Ilustração do ciclo ventilatório. As setas vermelhas indicam a direção do movimento de elevação e retração das costelas; a seta laranja indica a direção do movimento do diafragma.



Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/FisiologiaAnimal/respiracao6.php>

Contudo, mesmo a máxima expiração profunda, não consegue retirar todo o ar que está dentro das estruturas respiratórias. Permanece ar dentro da traqueia, brônquios e bronquíolos, estruturas que em conjunto são denominadas de espaço morto e uma pequena quantidade nos alvéolos – o ar velho. A denominação de espaço morto é porque ali não ocorre troca de gases. A troca dos gases só ocorre no nível alveolar (entre o ar do alvéolo e o sangue do capilar e vice-versa). Atenção: o ar velho que está dentro dos alvéo-

los já realizou a troca de gases e por isso, possui pouco oxigênio. O ar que está no espaço morto não realizou troca e possui mais oxigênio que o ar velho.



Fonte: da autora

O espaço morto tem a função de condução do ar e também de preparar o ar para chegar aos alvéolos na temperatura apropriada (nem muito frio, nem muito quente). As células que formam a parede (ou epitélio) dessas estruturas produzem vapor d'água, o que umedece o ar favorecendo as trocas de gases. Também produzem muco, no qual ficam aderidas as partículas de sujeira dispersas no ar. Esse epitélio possui cílios (semelhante a remos de um barco) que empurram o muco para cima (em direção ao exterior), levando com ele todas as partículas que estiverem aderidas.

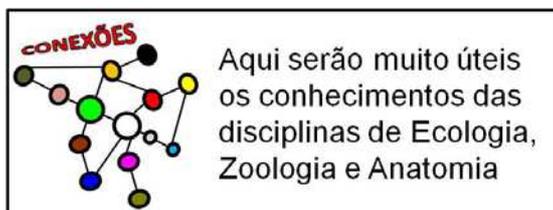
Ao inspirar, mais volume de ar entra no sistema e faz com que uma porção de ar que estava no espaço morto seja empurrada para dentro do alvéolo – o ar novo. Lembramos que o ar é uma composição de gases, entre eles o O_2 e o CO_2 . Cada gás segue seu próprio gradiente dentro do sistema respiratório. A troca dos gases entre meio interno e externo depende disso.

Na inspiração, o ar novo que entra no alvéolo tem mais O_2 que o sangue contido nos capilares que recobrem o alvéolo. Então, por força do gradiente de pressão parcial, o O_2 atravessa a parede do alvéolo e entra no capilar. AO MESMO TEMPO, esse sangue estava cheio de CO_2 e, como no momento da inspiração esse gás não

estava dentro do alvéolo, novamente pelo gradiente de pressão parcial, o CO_2 sai de dentro do capilar para dentro do alvéolo, finalizando a fase de inspiração.

Uma vez que tenha início a expiração, o tamanho do alvéolo reduzirá, expulsando um pouco de ar do seu interior. Uma quantidade de ar sairá do corpo e com grande quantidade de CO_2 , que seguirá seu gradiente de pressão parcial. Todo esse processo é denominado de respiração alveolar e é considerada a primeira troca de gases, a hematose (a segunda troca ocorre entre o capilar e a célula). Lembrando: o O_2 só entra no sistema respiratório com a inspiração e o CO_2 só sai do sistema

com a expiração (ou seja, em ciclo); na respiração alveolar, ao final da inspiração, o O_2 sai do alvéolo e entra no capilar enquanto o



Fonte: da autora

CO_2 sai do capilar e entra no alvéolo, troca que ocorre ao mesmo tempo.

Alimento e Nicho Ecológico

Na descrição dos sistemas fisiológicos dedicados à obtenção do oxigênio observamos que o ambiente em que um animal vive é profundamente determinante da estrutura e do funcionamento de cada sistema. No caso do sistema de obtenção de nutrientes, o sistema digestório, é o tipo do alimento que o animal consome e a forma como ele pode consumi-lo o determinante para as estruturas nesse sistema. Claro, tendo isto sido resultado do longo processo evolutivo de seleção natural.

Relembrando a cadeia alimentar, os animais consumidores herbívoros retiram seus nutrientes dos produtores (vegetais) e, por sua vez, servem de alimento para os carnívoros. Após a morte de herbívoros e carnívoros, os detritívoros devolvem os nutrientes ao meio ambiente, “alimentando” os produtores.

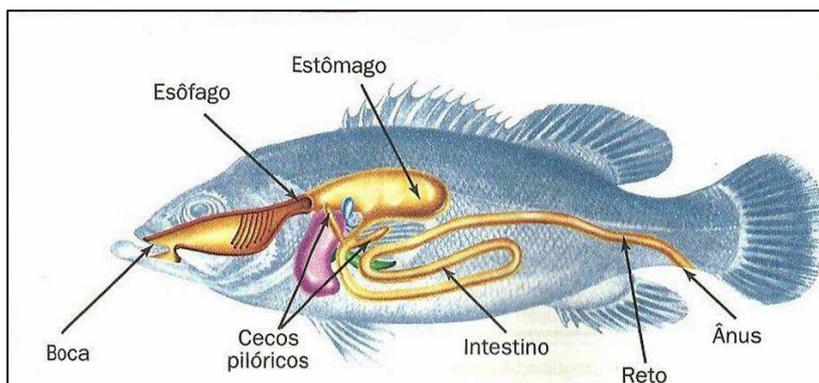
Contudo, nenhum herbívoro come todos os tipos de vegetais. P.ex., o gado come capim e até pode comer xique-xique, desde que queimado. Já a folha da gameleira não serve como alimento para ele, mas é consumida em larga escala pelo o macaco guariba (ou bugio). Entre os carnívoros, também observamos variações. As serpentes comem sua presa “inteira”. Algumas aranhas carnívoras não “comem” sua presa e sim “sugam” os nutrientes dela. Alguns animais comem de “tudo” um pouco e são chamados de omnívoros, como os saguis. Outros comem “tudo”, para dali retirar o alimento, como o peixe curimatá, que engole areia e lodo para “peneirar” pequenos alimentos ali contidos (classificados como iliófagos). A escolha do alimento tem a ver com o nicho ecológico de cada animal. P.ex., evolutivamente, é mais vantajoso para as serpentes engolir a presa inteira, porque rapidamente poderá buscar locais seguros para digeri-la e assim evitar seus próprios predadores.

Independente da classificação, conforme o alimento que consome, o que há em comum a herbívoros, carnívoros e omnívoros e os outros animais é que todos necessitam retirar os nutrientes do alimento que ingerem. Preste atenção: o alimento possui os nutrientes, mas também é formado por muitas outras substâncias, que não são de interesse para a produção de energia. É como a embalagem de um presente. Então, é preciso abrir, mas a embalagem não nos serve e por isso, depois, jogamos no lixo.

Estrutura e Funções do Sistema Digestório

Em essência, para o sistema digestório fornecer os macro e os micronutrientes ao meio interno, ele precisa ser capaz de “quebrar” a “embalagem” onde estão esses nutrientes, capturá-los e então eliminar os resíduos da própria embalagem. Ou seja, suas funções básicas: motilidade, digestão, absorção e excreção. Para isto, este sistema se constitui de um longo tubo digestório com uma abertura de entrada (boca) e outra de saída (o ânus ou a cloaca). Esse tubo forma os vários órgãos do sistema e a ele estão ligados vários órgãos anexos, que não fazem parte do tubo, mas se ligam a ele e participam do sistema (figura 11).

Figura 11: Ilustração do tubo digestório e seus órgãos em um peixe osteícte. As estruturas coloridas não indicadas são os órgãos anexos: fígado, pâncreas e vesícula biliar.

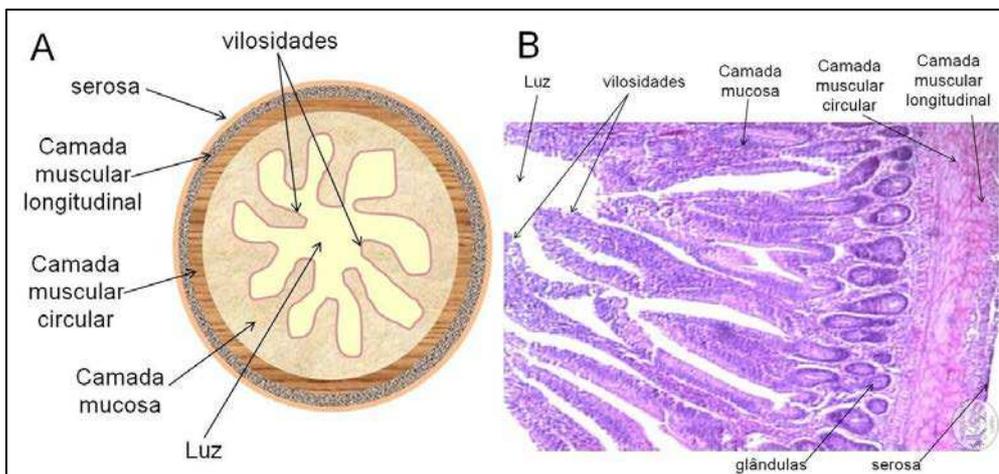


Fonte: <http://peixes2010.blogspot.com.br/p/nnnn.html>

Ao pensar em um “tubo”, logo imaginamos um cano. Algo que tem uma parede com uma passagem interna – a luz. O tubo digestório também tem uma parede que forma o espaço oco em seu interior, ou seja, sua luz. Mas, a grande diferença é que a luz não é tão “grande” quanto se vê num cano. Isso porque a parede é bem mais grossa, já que é formada por várias camadas de células, como

veremos. Olhando um cano, a parede tem o lado de fora e o lado que fica para dentro, em contato com a luz. Na parede do tubo digestório, a camada de dentro que fica em contato com a luz é chamada de mucosa. A mucosa não é lisa como se vê na parede do cano. Ela é cheia de dobras e é por isso que a luz do tubo digestório é estreita (figura 12).

Figura 12: Em A, desenho esquemático ilustrando as diferentes camadas do tubo digestório (sem relação proporcional exata). Em B, imagem histológica de corte de intestino delgado de galinha.



Fonte A: da autora;

Fonte B: <http://www.uff.br/atlashistovet/SistDigestorio.htm#SistDigestorio>

As várias camadas que formam a parede do tubo são sobrepostas, ou seja, uma sobre a outra. Então, a partir da luz, a primeira camada é a mucosa, após ela existe uma fina camada de músculo (camada muscular da mucosa) e, em seguida a grossa camada muscular circular. Sobre a camada circular, existe a camada muscular longitudinal que também é espessa. E, formando a face externa, há uma camada de epitélio servindo de “capa” para o tubo, denominada de serosa. Entre cada uma dessas camadas, há muitos vasos sanguíneos e nervos que também se constituem em “camadas” de-

nominadas de plexos. Esse é o padrão básico da estrutura do tubo digestório da maioria dos animais (figura 12).

São as camadas musculares, principalmente a circular e a longitudinal, que garantem que o alimento passe por todo o tubo, desde a entrada até a saída, na função de motilidade, ou seja, movimento. Quando uma porção da camada circular do tubo se contrai, ela diminui o espaço naquele ponto, empurrando o conteúdo da luz para adiante. A camada longitudinal anterior ao ponto onde a circular se contraiu também se contrai e a posterior a esse ponto, relaxa, ajudando o conteúdo ir adiante. No momento seguinte, o ponto que estava em relaxamento será contraído, formando uma onda de contração. A relação entre a contração dos músculos circulares e dos longitudinais cria o processo da peristalse ou peristaltismo, responsável por propelir ou empurrar o bolo alimentar, fazendo com que ele seja levado adiante, passando por todos os órgãos até ser expelido (o resíduo) pelo ânus.

A motilidade também participa de outra função do sistema: a digestão. Esse termo quer dizer quebrar ou separar em pedaços menores. Essa quebra é física na digestão mecânica. Quando a musculatura circular se contrai, para propelir o bolo alimentar, a força dessa contração amassa o conteúdo que está na luz do tubo, promove também uma quebra. A digestão mecânica começa na ingestão do alimento, através dos movimentos da boca e das estruturas a ela associadas. Os dentes caninos dos carnívoros e demais animais são apropriados para dilacerar, rasgar, cortar em pequenos pedacos a carne da presa. Os dentes incisivos são o instrumento dos roedores. Os dentes molares dos herbívoros são especializados em moer e triturar o vegetal que ele come. As pinças e as quelíceras dos ar-

trópodes reduzem a pedaços menores suas presas.

A quebra em partes menores deve chegar ao nível molecular, ou seja, na digestão química. Efetivamente é esse tipo de digestão que permite a obtenção dos macros e dos micronutrientes. A “tesoura” que corta as ligações químicas, liberando as biomoléculas, são as enzimas digestivas. Elas fazem parte das secreções digestivas (também chamados de sucos digestivos), produto dos órgãos anexos ao tubo digestório: glândulas salivares, vesícula biliar (que armazena a bile produzida no fígado, secreção que não contém enzimas) e pâncreas. Cada um desses órgãos possui um ducto, um canal, que liga o órgão ao tubo digestório. Além deles, na mucosa são encontradas glândulas que também secretam enzimas e outras substâncias para a digestão.

Além dos elementos específicos para a digestão de algum nutriente, todas as secreções têm como componente principal a água. Ou seja, as secreções adicionam água ao bolo alimentar. As contrações da motilidade amassam, quebram o conteúdo da luz e promovem a mistura desse conteúdo com as secreções. A denominação de bolo alimentar é bastante ilustrativa. Pensando num delicioso bolo de milho, quem cozinha sabe: no preparo, é preciso adicionar um componente líquido para conseguir misturar os ingredientes (o milho, a farinha, o açúcar, etc.). Do mesmo modo ocorre com o bolo alimentar. A adição das secreções torna essa mistura com consistência pastosa e assim ela pode transitar ao longo do tubo. Reveja a figura 12 e observe que o espaço (a luz) por onde o bolo deve passar é bastante estreito.

Se por algum motivo um pedaço de alimento não puder ser “liquidificado” nessa mistura das contrações do tubo com as enzi-

mas, ele terá dificuldade para ser propelido. É comum acidentes com crianças que ingerem objetos pequenos. O sistema digestório humano não tem capacidade de digerir nenhum objeto de plástico, madeira ou metal. Ele então terá que ser propelido inteiro e, em alguma parte do tubo, poderá “entalar”. Essa é uma situação grave. Na analogia do cano é fácil compreender isso, não é?!

Nas porções iniciais do tubo, a ação da digestão sobre o bolo alimentar reduz seu tamanho e o torna pastoso. A consistência pastosa reflete a diluição das substâncias pela ação mecânica e química, liberando as biomoléculas. Nessa consistência, ao alcançar as regiões importantes para a absorção, o conteúdo poderá trafegar por entre as vilosidades com facilidade. Voltando à analogia do bolo de milho, ao colocar um pouco da massa na palma da mão e então fechar a mão em punho, alguma massa irá escapar por entre os dedos, ou seja, a liquidez da massa permitiu a ela passar no espaço bastante apertado.

Mas para o bolo alimentar se tornar pastoso é preciso algum tempo. Ou seja, é preciso haver uma boa relação, ou sincronia, entre a velocidade em que o bolo alimentar é propelido pela peristalse e o tempo em que as enzimas têm para agir sobre ele. Se a velocidade for grande, não haverá tempo suficiente para quebrar tudo, seja pela ação mecânica ou pela química. As porções não digeridas sairão nas fezes. Essa sincronia é garantida pelo controle do sistema nervoso e sistema endócrino.

A alimentação das serpentes ilustra esse processo. Ao ingerir a presa inteira, as vigorosas contrações musculares do tubo digestório (e também do corpo) desse animal fazem a parte mecânica do trabalho, ao longo de todo o tubo, mas principalmente na porção

inicial, amassando. Simultaneamente, as secreções digestivas vão sendo adicionadas ao conteúdo do tubo, e sendo misturadas a ele. Mas, o conteúdo ainda estará em grande parte inteiro. É preciso ter tempo para as enzimas atravessarem a parte externa da presa e então começar o processo de digestão de seu interior. Por isso que as serpentes ficam imóveis, após a alimentação. E é visível o movimento do conteúdo no interior do animal, muito lentamente.

Órgãos do Tubo Digestório e a Digestão

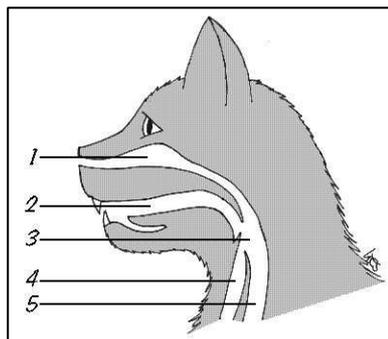
Na maioria dos animais, após a boca, o tubo forma a faringe, seguida pelo esôfago, regiões alongadas que comunicam o meio externo com as regiões digestivas. Na boca, o alimento é triturado e misturado com a saliva, o início da digestão química. A saliva também serve como lubrificante para o deslizamento do bolo ao longo do esôfago. O processo da passagem para dentro do esôfago é a deglutição. Para os animais pulmonados, a faringe é uma área comum aos sistemas respiratório e digestório. Por isso, a deglutição é um processo coordenado pelo sistema nervoso (figura 13).

A faringe se conecta com a abertura da traqueia e a do esôfago. Em cada uma delas há um anel muscular, denominado de esfíncter. O anel do esôfago (esfíncter esofágico superior) fica fechado a maior parte do tempo. O anel da traqueia, a glote, fica aberto para entrada de ar. Para engolir o alimento, por poucos segundos, o animal fecha a glote e abre o esôfago. A língua impulsiona o bolo alimentar para a faringe e os sinais da presença do alimento são enviados para o sistema nervoso que, coordenadamente, fecha a glote e dá início à peristalse, promovendo a deglutição. Se algum alimento entrar na traqueia, ocorre a tosse e o engasgo. A peristalse empurra

o bolo até o esfíncter esofágico inferior (também denominado de cárdia ou esfíncter cárdico) (figura 13).

Do esôfago em diante, há uma grande variação de estruturas, tamanho e formato entre os animais, conforme sua alimentação (figuras 11, 14 e 15). Embora o que mais chame atenção nessas variações seja a diferença anatômica, é preciso compreender que as variações visam atender ao processo digestivo conforme o tipo do alimento e a forma como o animal o obtém. Vamos abordar os mais comuns de cada grupo.

Figura 13: Figura ilustrando a região da faringe com passagem comum ao sistema respiratório e digestório. 1 – cavidade respiratória; 2 – cavidade bucal; 3 – faringe; 4 – traqueia e 5 – esôfago. O início da traqueia e do esôfago contém um anel muscular (esfíncter) que fecha a abertura, mas não está ilustrado na figura.



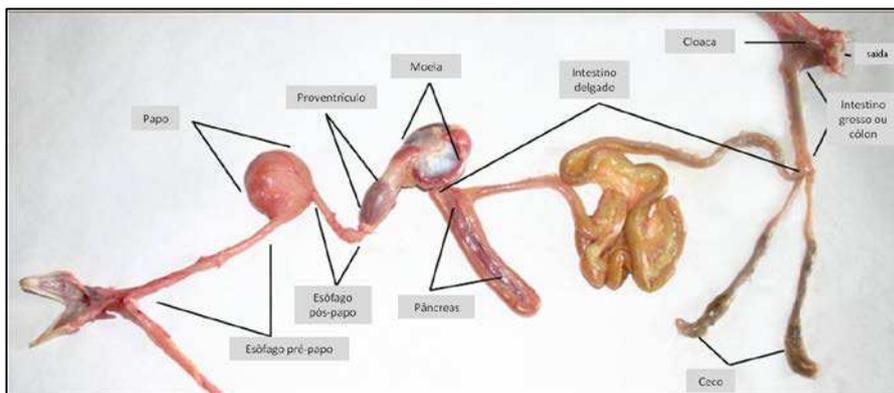
Fonte: http://pawpeds.com/pawacademy/reproduction/tubefeeding/index_pt.html

Na maioria das aves, uma parte do esôfago forma o papo. O estômago é dividido em proventrículo e moela (figura 14). Eles são alargamentos do tubo digestório formando bolsas ou sacos e, na passagem de um para outro, também existem esfíncteres que controlam o esvaziamento. As aves possuem bico e não possuem dentes. Com isso, o alimento não sofre digestão mecânica inicial e é encaminhado para o papo. Lá ele será amolecido pelas secreções iniciais, antes de seguir adiante. O papo também tem função de ar-

mazenar o alimento, garantindo que o animal ingira o máximo possível em cada oportunidade alimentar.

Do papo, o alimento é enviado ao proventrículo, onde ficará por algumas horas recebendo a ação de uma secreção ácida. Então segue para a moela, uma estrutura que utiliza a força da sua musculatura associada a grãos de areia ali armazenados para realizar a maior parte da digestão mecânica, e também misturar o alimento com as secreções recebidas anteriormente.

Figura 14: Peça de dissecação anatômica do sistema digestório de uma ave preparada para foto. Observar o pâncreas circundado pela alça duodenal ou duodeno. Fígado e vesícula biliar não estão presentes.



Fonte: adaptado de http://www.geauga4h.org/poultry/chicken_digestion.htm

Saindo da moela, o bolo atravessa o piloro (um esfíncter) chegando a alça duodenal ou duodeno, a primeira parte do intestino delgado. Não há propriamente uma divisão física, mas o intestino se divide duodeno, jejuno e íleo. A alça duodenal praticamente envolve o pâncreas no seu interior, que se liga ao tubo digestório nessa região. O fígado, através da vesícula biliar, também se conecta nesse local. O intestino é o local onde ocorre a maior parte da absorção dos nutrientes. Sua mucosa é especializada para realizar esse traba-

lho. As vilosidades são mais numerosas e em cada uma delas, há microvilosidades, ampliando muito a área de contato para absorção.

O conteúdo chega pouco a pouco ao duodeno, com ondas que transbordam na passagem da larga moela para o estreito duodeno. Isto é fundamental, porque o pouco conteúdo que chega precisa imediatamente ser misturado à secreção pancreática. Essa secreção é rica em bicarbonato, um composto básico que se contrapõe à acidez das secreções gástricas. Atenção: gastro é a palavra de origem grega que se refere a estômago, por isso, o adjetivo gástrico. O ácido das secreções gástricas não afetam as regiões do próprio estômago porque ele é preparado para elas. A mucosa gástrica produz muito muco (o sistema respiratório também produz muco, lembra?). Esse muco faz uma camada na superfície da parede, impedindo o ácido de atacar (e danificar) as células da mucosa.

A secreção pancreática também contém todas as enzimas necessárias à digestão química. Por isso, ela é fundamental para obter a digestão final do alimento e liberar os nutrientes. O duodeno também é local da liberação da bile. Essa é uma secreção produzida continuamente pelo fígado e armazenada na vesícula biliar, para os animais que possuem esse órgão – os que não possuem, liberam continuamente a secreção. Em parte, a secreção biliar é um meio de excreção de substâncias que resultam das atividades das células hepáticas (termo referente ao fígado). Além desses resíduos e da água (sempre o componente principal), a bile contém sais biliares (também são chamados de ácidos biliares). Eles são fundamentais para a digestão da gordura, e obtenção dos lipídeos. Lembre: a bile não contém enzimas!

Gordura não se mistura com água, não é?! Imagine como fica a gordura dentro do bolo alimentar. As estruturas alimentares que contêm carboidrato ou proteína sofrem facilmente a ação das enzimas, que produzem a hidrólise das ligações químicas. Então, a ação enzimática pressupõe a presença de água (hidro!). O que chamamos de gordura é um triglicerídeo (um glicerol e três ácidos graxos ligados). É importante alertar que o colesterol também é gordura. Nos alimentos naturais, raramente é encontrado o colesterol. Normalmente o corpo dos animais fabrica essa substância importante para as células. Mas, os alimentos industrializados, ou os alimentos transformados na cozinha, trazem esse elemento em sua composição e aumentam a concentração dele no sangue e, nesse caso, ele passa a ter um efeito prejudicial à saúde (inclusive de animais não humanos que tenham acesso a esse tipo de alimento).

Então, os sais biliares podem se associar às gorduras, porque eles têm um lado de sua estrutura que tem afinidade com os lipídeos que estão dentro da gordura (lipofílico). Mas o outro lado é hidrofílico (na brincadeira, na analogia com filmes de guerra, é um “agente duplo”). Gotas de gorduras são circundadas por sais biliares, formando uma micela (processo denominado de emulsificação). As enzimas do pâncreas (como a lipase e outras) podem entrar na micela, graças ao lado hidrofílico dos sais biliares. Com isso, elas digerem os triglicerídeos, separando seus componentes. Quando a micela se aproxima da mucosa intestinal, por difusão, o glicerol e os ácidos graxos se deslocam para dentro da célula do intestino (enterócito) (já que são lipofílicos) – isto é absorção! No enterócito, essas substâncias são novamente reagrupadas em triglicerídeos e são “empacotadas” em vesículas chamadas quilomícrons, o que permite

o deslocamento dessa substância no meio interno (LEC-i e LEC-p).

Para não “engordurar” o raciocínio, vamos sintetizar as nomenclaturas relativas à gordura. O alimento contém triglicérides (composição de lipídeos), os próprios lipídeos livres, outras substâncias que possuem lipídeos associados ou colesterol e seus subcomponentes. A digestão da gordura vai liberar os lipídeos: glicerol e ácidos graxos. Essas são as moléculas que a célula pode usar para fabricar energia.

A ação digestiva do sistema digestório é auxiliada pela digestão realizada por bactérias presentes no intestino delgado, no ceco e no cólon de todos os animais. A maioria delas atua em simbiose, obtendo seu próprio alimento ao realizar a digestão de materiais os quais o animal não possui condição de digerir (p.ex., celulose). O conjunto dessas bactérias é denominado de flora intestinal. Enquanto o conteúdo passa ao longo do intestino e do cólon, a flora vai realizando seu trabalho. O estômago também pode conter bactérias, especialmente nos ruminantes, assunto do próximo tópico.

O ponto final do intestino delgado apresenta o esfíncter ileocecal, que comunica o intestino com o ceco, existente em muitos animais. Os cecos são prolongamentos em “fundo cego”, cheios de bactérias simbióticas, as quais poderão realizar a digestão de materiais como a celulose, para os quais o animal não possui enzimas. O ceco contém uma abertura para o cólon (intestino grosso), região que também contém bactérias simbióticas. O conteúdo que alcança o cólon já está, em grande parte, completamente digerido, ou seja, ali estão contidos resíduos que o animal não consegue digerir ou estruturas que não contêm macronutrientes. As bactérias colônicas

podem atuar para retirar deles ainda micronutrientes que, então, são absorvidos pela mucosa da região. No cólon, principalmente nas regiões iniciais, ocorre a reabsorção da água que foi jogada na luz do tubo digestório através das secreções (excelente exemplo de reciclagem!). A retirada da água torna o resíduo menos pastoso, formando as fezes. Ainda haverá água nas fezes, mas essa é “essencial” para manter o trânsito dentro do próprio cólon até o ânus. Em animais que possuem cloaca, as fezes são eliminadas junto com a urina, tornando o conteúdo novamente pastoso.



Num programa de TV, Dr. Drauzio Varela apresentou um vídeo que acompanha, em imagens reais, todo o processo digestório humano. Assista no link: <https://www.youtube.com/watch?v=GJGeB5pov24>

Fonte: da autora

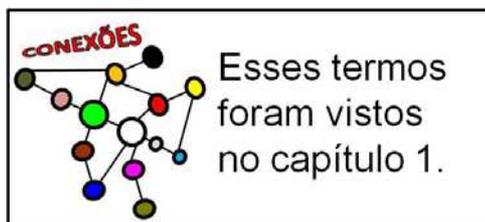
Assim como o cólon, a mucosa de todas as estruturas anteriores tem capacidade de absorver água e muitos micronutrientes. Os macronutrientes: carboidratos, aminoácidos (componentes da proteína) e lipídeos só são absorvidos no intestino. Por isso a ênfase no fato de que a absorção é função do intestino delgado. Absorver nada mais é do que capturar as biomoléculas que estão livres na luz intestinal para dentro do enterócito.

Atenção: é preciso que ocorra a digestão química para haver a absorção. A digestão é um processo que precisa de contato das enzimas com as substâncias a serem digeridas – proporcionado pela constante mistura do bolo a partir da motilidade do tubo. Alguns alimentos são mais resistentes à ação enzimática. Disto vem a importância de reter o alimento temporalmente em algumas partes do sis-

tema, como o papo e as regiões do estômago. Assim, o conteúdo é liberado para o intestino em pequenas porções, permitindo a ação das enzimas, garantindo que toda a energia (através dos macronutrientes) seja obtida do alimento.

O aumento da área como consequência da presença de maior quantidade de vilosidades e a existência de microvilosidades no intestino permite o maior contato possível do conteúdo com a mucosa. Voltando aquela analogia do início, se um cano for preenchido com areia, reflita: as partículas de areia que estiverem no “centro” estarão em contato com a parede do cano? A resposta é não. Voltando ao intestino, por isso as dobraduras da mucosa aumentam a área de contato.

Ao entrar em contato com a mucosa, os macronutrientes podem ser absorvidos por difusão simples, no caso dos lipídeos, difusão facilitada ou por proteínas transportadoras da



Fonte: da autora

membrana, para os carboidratos, e por proteínas transportadoras para os aminoácidos. Das células do enterócitos, os nutrientes precisam chegar às demais células, função do sistema circulatório. Entretanto, antes da distribuição para todo o corpo, o sangue com os nutrientes absorvidos segue para o fígado através do sistema porta hepático (assunto do próximo capítulo) – hepático é o adjetivo para tudo referente ao fígado. O fígado tem a função de “analisar” as substâncias presentes no sangue e remover toxinas que, por ocasião, tenham sido absorvidas junto com os nutrientes, excretando-as através da bile. Ele também reterá o excesso de carboidratos, for-

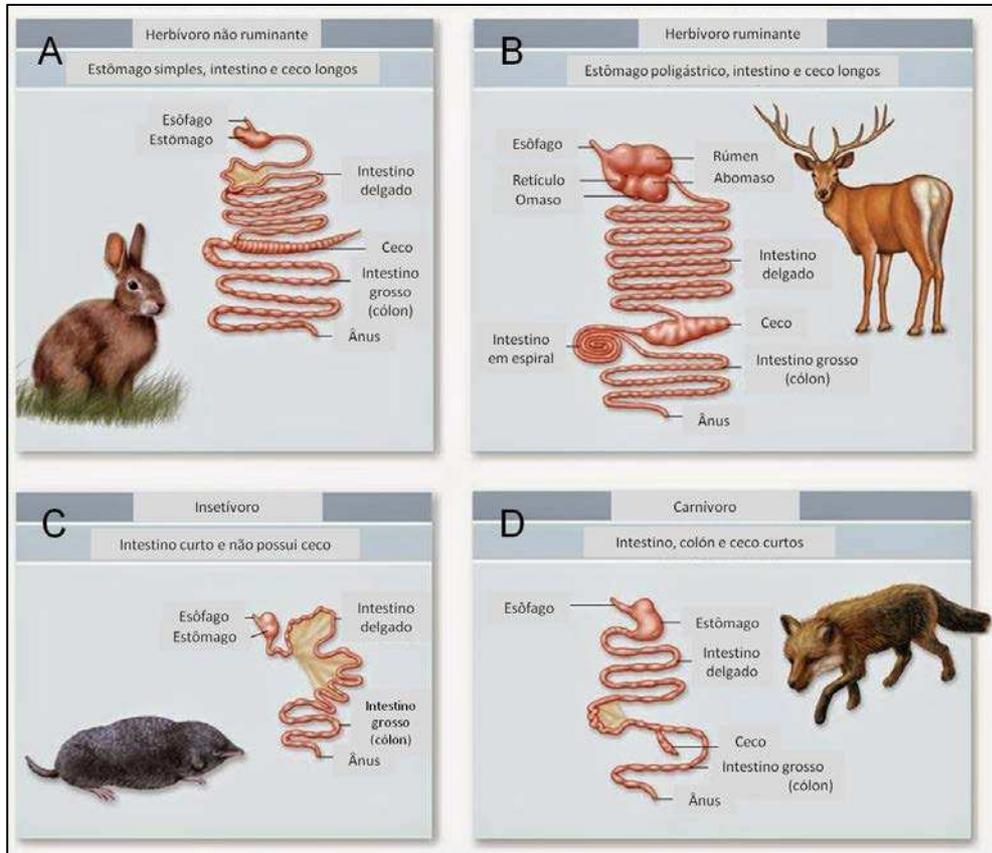
mando e armazenando glicogênio.

Sistema Digestório nos Ruminantes

Na natureza, um carboidrato superabundante é a celulose, contida nas diferentes partes das plantas. Contudo, a digestão da celulose exige uma enzima, a celulase (observe o sufixo ASE). Somente invertebrados produzem essa enzima. Ainda assim, muitos vertebrados consomem vegetais como alimentos e conseguem obter a celulose para produzir energia. A estratégia, nesse caso, foi dividir o trabalho com as bactérias simbióticas. Então, para esses animais, a digestão química é dependente da manutenção de uma população de microorganismos dentro do trato digestório deles. Como há um “intermediário” no processo (as bactérias), a digestão levará mais tempo. E para mais alimento poder ser consumido em cada oportunidade, é preciso ter mais espaço para abrigar o processo. Isso fica bastante evidente na comparação da anatomia do sistema digestório entre os animais, conforme seu tipo de alimento (figura 15).

A evolução dos ruminantes dotou-os de um estômago subdividido em regiões ou compartimentos, por isso poligástrico (figura 16). O gado, um ruminante clássico, retira o capim do solo e o mastiga brevemente. Assim, ao passar pelo esfíncter esofágico inferior, o alimento chega ao estômago, na região do rúmen (ou pança) com pouca digestão mecânica da mastigação, porém com bastante saliva. Enquanto isso, o animal continua retirando mais capim e acumulando na sua pança, podendo realizar a ruminação posteriormente.

Figura 15: Ilustração comparando os órgãos do tubo digestório entre animais, conforme sua alimentação. Os órgãos anexos não estão representados.



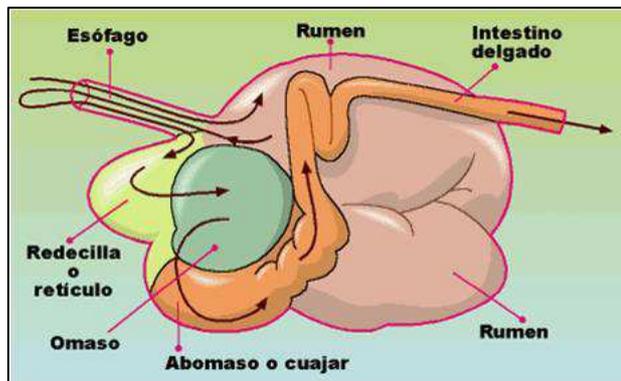
Fonte: adaptado de <http://biogeo.esy.es/BG2ESO/digestion.htm>

No rúmen existe uma grande quantidade de bactérias. Junto com a saliva, a digestão das bactérias forma um ambiente de fermentação, o qual resulta na liberação de ácidos graxos do alimento, além de muitos gases, entre eles o metano. Os ácidos graxos são imediatamente absorvidos na mucosa do rúmen. Recorde que esse elemento está presente nos triglicerídeos (gorduras). Os gases são liberados por eructação (o popular arrote).

Do rúmen, o bolo alimentar, ou seja, o capim mastigado, a saliva e os microorganismos que estão associados ao capim para

digeri-lo, segue para o retículo (também chamado de barrete) cuja parede interna se assemelha a um favo de mel. Esse é o menor dos quatro compartimentos e tem a função de agrupar o material formando pequenos bolos para enviá-los de volta à boca, permitindo nova mastigação – a ruminação. No retículo também há bactérias que se juntarão aquelas que chegam com o bolo alimentar, aumentando a digestão.

Figura 16: Ilustração do estômago poligástrico dos ruminantes. As indicações estão em espanhol, mas os termos principais são compreensíveis em português. São componentes do estômago: o rúmen (ou pança), o retículo (ou barrete), o omaso (ou folhoso) e o abomaso (ou coalheira). As setas pretas indicam a direção do movimento do bolo alimentar.



Fonte: <http://alfa01anatomia.blogspot.com.br/>

Numa próxima deglutição, o conteúdo mais liquidificado (refletindo maior digestão) segue para o omaso (ou folhoso), cuja mucosa é cheia de pregas (folhas – daí folhoso), o que permite maior área para a reabsorção da água (que foi secretada na saliva). A retirada de grande volume de água torna o bolo alimentar mais concentrado de bactérias. O omaso libera pouco a pouco o conteúdo para dentro do abomaso (coagulador, estômago verdadeiro ou estômago químico), e ali receberá as enzimas digestivas produzidas pelas glândulas da mucosa da região.

Entre os compartimentos do estômago também há esfíncteres que controlam o esvaziamento de cada cavidade. E entre o abomaso e o intestino, há o piloro. No intestino, o bolo alimentar sofrerá a ação da secreção pancreática e da bile, tal qual descrito acima para outros animais.

Todo esse processo garante a captação de nutrientes para a geração de energia dos ruminantes. Contudo, é um processo que envolve desperdício, uma vez que muito material é eliminado nas fezes ainda sem ter completado sua digestão. Por isso, os ruminantes gastam grande parte de seu tempo comendo.

Controle do Sistema Digestório no Homem

Então, a ação das enzimas digestivas com ou sem ajuda das bactérias requer que a digestão mecânica tenha se processado ao máximo e que haja mistura suficiente para que todo o conteúdo do bolo alimentar sofra a digestão. Posteriormente, é preciso que todo o conteúdo, com máxima digestão, entre em contato com a mucosa intestinal para possibilitar a absorção. Um fator que está implicado em tudo isto é a motilidade, especificamente a peristalse, cuja função é propelir o bolo alimentar.

Se a frequência de ondas peristálticas não for apropriada, muitos nutrientes serão perdidos nas fezes (ainda em forma de partes de alimento, sem digestão). Outro efeito é a perda de água, que seria reabsorvida no cólon. Se o bolo que chega ali possui elementos ainda solidificados, isso exigirá a permanência de mais água na luz, conseqüentemente sendo perdida nas fezes. Esse é o efeito observado nas diarreias (que inclusive pode matar por desidratação). Como é possível ajustar a motilidade? Para explicar essa questão,

utilizaremos o exemplo do sistema digestório humano.

O músculo liso que forma as camadas circular e longitudinal do tubo digestório é formado por células que se contraem sob a influência do sistema nervoso e do sistema endócrino. Para entender o controle, é necessário compreender o que aciona cada sistema desses. Relembrando o capítulo 1, o sistema nervoso se organiza a partir de sensores, que enviam informações a um centro de comando e este providencia uma resposta, ao se comunicar com os efetores. O músculo liso é um efector, bem como as glândulas que produzem as secreções digestivas (exócrinas) e as glândulas endócrinas, que produzem hormônios. O centro nervoso (SNC) é formado pela medula e pelo encéfalo, assunto de capítulos adiante. Mas, no caso do sistema digestório, algumas respostas são desencadeadas a partir de uma rede de comunicação existente dentro da parede do tubo – o sistema nervoso entérico (SNE) (termo referente ao intestino).

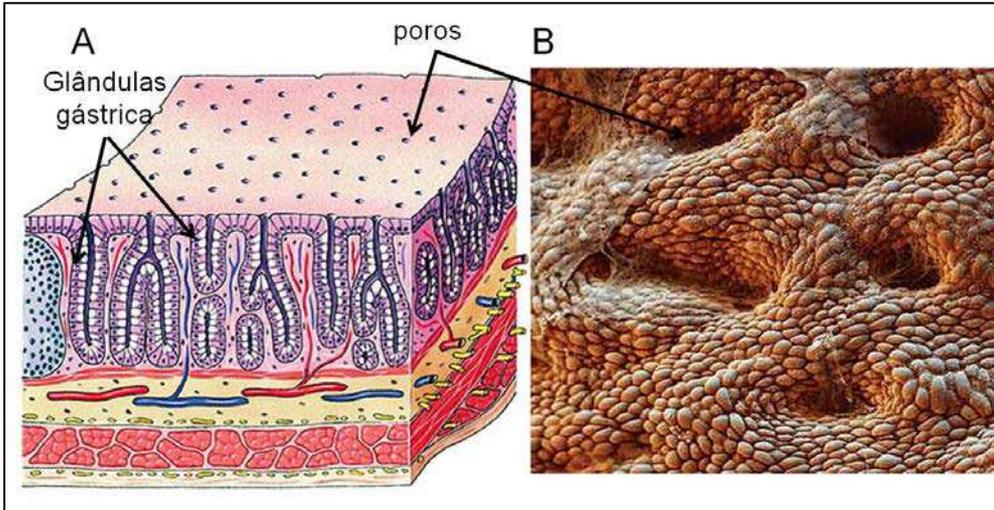
Na resposta mais simples, e que gera a peristalse, a chegada do bolo alimentar, p.ex., no esôfago, faz a parede do tubo se dilatar ou esticar. Na parede existem sensores nervosos que são ativados quando ocorre o estiramento dos músculos. Essa informação é levada para agrupamento nervosos (gânglios) localizados na parede do tubo. Os gânglios recebem a informação e acionam nervos que estão em contato com as células musculares para ativá-los. Então, automaticamente, quando o bolo alimentar estira uma parte da parede do tubo, segundo após, essa mesma parte irá reagir se contraindo e empurrando o bolo para adiante. Ao mesmo tempo em que os gânglios acionam os nervos da região que deverá se contrair, eles também inibem os nervos da região imediatamente anterior a esta, para manter-se relaxada e receber o bolo alimentar. Respostas au-

tomáticas e rápidas assim são denominadas, de reflexo. Obviamente, quando o bolo alcançar a região seguinte, fará o mesmo processo, por isso a ideia de onda.

Antes mesmo de o alimento chegar ao estômago (antes até de ingeri-lo), as glândulas da mucosa estomacal começam a liberar sua secreção gástrica. A principal característica dessa secreção é a acidez, medida pelo pH (uma das variáveis fisiológicas). Essa acidez é resultado da presença do ácido clorídrico, que faz parte da composição da secreção. Além dele, a água, pepsinogênio (que dará origem a enzima pepsina) e o fator intrínseco. O ácido tem função de proteção de todo o sistema, eliminando microorganismos. Ele também é responsável pela ativação da pepsina (que só ocorre com pH ácido), a enzima que digere proteína. O fator intrínseco é um elemento que participará da absorção de vitamina B12 no intestino – e que sem ele não ocorrerá. Esses componentes são produzidos por diferentes células da mucosa gástrica, que em conjunto são chamadas de glândulas oxínticas (ou gástricas): célula do colo, célula parietal, célula principal e célula G. Essas glândulas são formadas pela invaginação da mucosa gástrica e seus poros aparecem na superfície enrugada (figura 17 e 18).

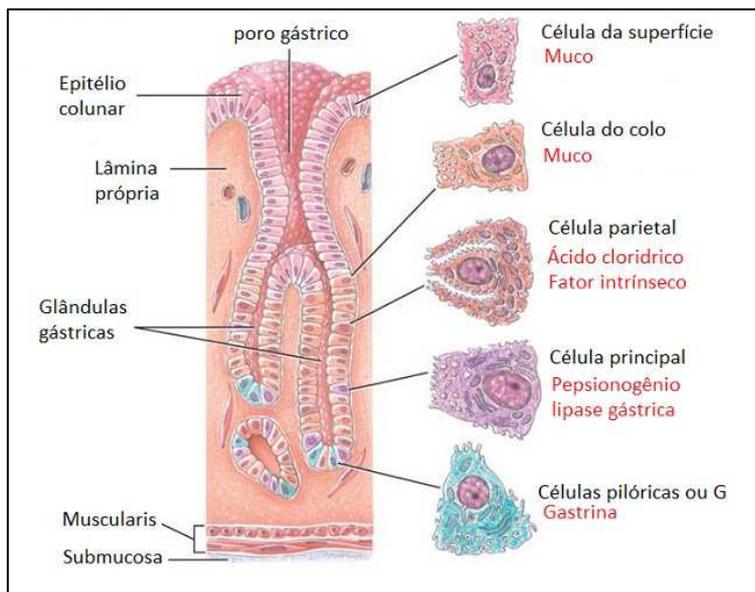
As glândulas gástricas são estimuladas pelo SNC, depois que ele recebe informação dos sensores exteriores (órgãos sensoriais da visão e olfação) e dos sensores internos (gustação e a distensão da parede esofágica na deglutição). Quando o alimento chega ao estômago, a informação da distensão da parede leva os gânglios do SNE a estimularem o aumento da produção de todos os componentes da secreção gástrica e também dão início a peristalse.

Figura 17: Em A, ilustração da parede gástrica, evidenciando a invaginação da mucosa e as glândulas gástricas, que se comunicam na superfície através de poros. Em B, foto micrografia da superfície da mucosa gástrica, sendo possível observar o muco protetor.



Fonte: adaptado de http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-humana-2011-g367/material-de-clase/bloque-tematico-5.-fisiologia-del-aparato/tema-3.-secrecion-salivar-y-gastrica/tema-3.-secrecion-salivar-y-gastrica/skinless_view

Figura 18: Ilustração da glândula gástrica, suas células e os componentes que cada uma produz.

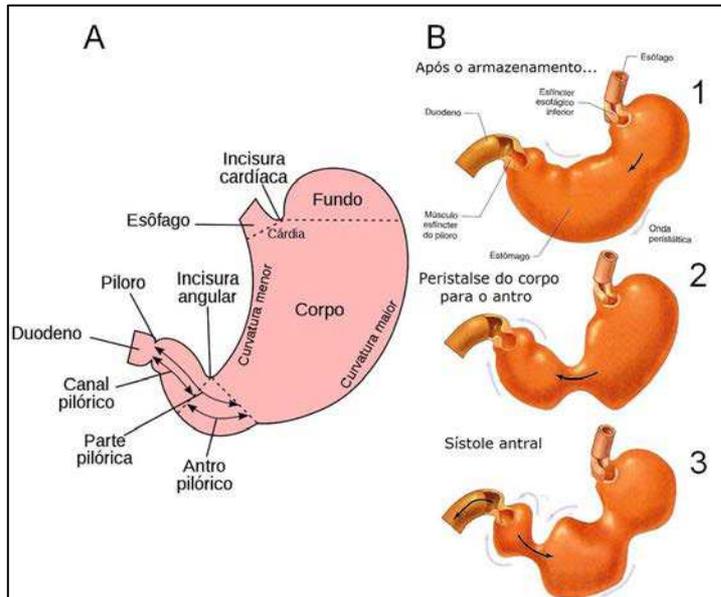


Fonte: <http://www.medicinageriatrica.com.br/tag/celulas-pepticas/>

É importante lembrar que o estômago é destinado a acumular o máximo de alimento possível. Conforme descrito anteriormente, para que ocorra a absorção, a digestão precisa ser bem realizada. Assim, é fundamental que o estômago seja capaz de reter o conteúdo e repassá-lo pouco a pouco para o intestino, após a ação da digestão mecânica e química ocorrida no seu interior. Essencial para isto é o piloro. Para compreender, vamos identificar as regiões do estômago: fundo, corpo e antro (figura 19A). O fundo é apropriado para armazenar e, portanto, a motilidade ali é a mais fraca possível. No corpo e no antro, a onda peristáltica promove uma vigorosa contração que tanto propela quanto quebra e mistura o bolo. Quando a parte final do corpo se contrai, empurra o bolo para o antro e, o conteúdo que já estava lá é então esvaziado para dentro do duodeno através do piloro (figura 19B). Ao se contrair, o antro promove o fechamento do piloro, retendo o esvaziamento e também aumentando a mistura dos conteúdos (esse conteúdo misturado é muitas vezes chamado de quimo).

O enchimento do estômago estimula a peristalse, mas a frequência e a intensidade das ondas sofrem influência de outros fatores. Os sensores de estiramento da parede gástrica enviam sinais para os gânglios do SNE, mas também para o SNC. Essa informação faz com que o SNC acione a musculatura do cólon, ativando a peristalse lá (reflexo gastrocólico). A função disto é promover o esvaziamento do cólon, permitindo que o fluxo seja mantido com a chegada de novos alimentos. Notadamente, em muitas pessoas, durante ou após alguma refeição surge a sensação de defecação – aí está a justificativa!

Figura 19: Em A, ilustração das regiões do estômago. Em B, sequência ilustrando os movimentos resultantes da peristalse no estômago: 1- a contração inicia na parte superior do corpo; 2- a onda peristáltica chega à porção final do corpo e impulsiona o conteúdo para o antro (observar que o piloro está aberto e com isso ocorre esvaziamento do conteúdo para dentro do duodeno); 3- o antro se contrai (sístole) fechando o piloro. Na ilustração 3, aparecem duas outras contrações, para demonstrar que as ondas não param. Com isso, o efeito do fechamento do piloro é o retorno do conteúdo ao antro, sendo misturado ao conteúdo que chega a partir do corpo, e retendo o esvaziamento para o duodeno.



Fonte: <http://fisiologiadadigestao.blogspot.com.br/2013/05/funcoes-do-estomago-e-motilidade.html>

As células G da mucosa do antro produzem o hormônio gastrina. O hormônio é liberado pela ativação dessas células por parte dos gânglios do SNE, efeito também resultante da distensão do antro com a chegada do bolo alimentar – além do efeito da peristalse. As células G também são estimuladas pelas proteínas presente no bolo alimentar. Esse hormônio atua sobre a musculatura aumentando as contrações e sobre as células parietais das glândulas gástricas, para aumentar a produção do ácido clorídrico.

Quando o bolo alimentar chega ao duodeno, traz com ele a

acidez da secreção gástrica. Esse é um estímulo importante para desencadear respostas relativas à digestão e à motilidade. Igualmente, os estímulos sensoriais externos (antes e durante a ingestão) fazem o SNC ativar uma pequena produção da secreção pancreática, que contém bicarbonato, enzimas diversas e água. Por sua vez, quando o bolo alcança o estômago, a gastrina é produzida e também atua no pâncreas, estimulando a liberação do bicarbonato – já preparando a chegada do quimo. Quando ele chega, a acidez irá ativar a célula S a secretar um hormônio chamado secretina, que aumentará a produção e a liberação da secreção pancreática. A presença de gordura no quimo ativará outra célula a produzir o hormônio CCK (colecistoquinina), este atuará na vesícula biliar fazendo-a contrair e expulsar a bile para o duodeno. Tudo isso ocorre simultaneamente à ativação do reflexo de estiramento da parede, iniciando a peristalse.

Relembrando que no intestino a luz se reduz, em função das vilosidades, o conteúdo que passa ali, por vez em cada trecho, tem que estar pastoso e digerido. Assim que chega ao duodeno, muitos componentes ainda vão sofrer a maior parte de sua digestão química, através da secreção pancreática. Por isso, a maior parte da absorção ocorrerá no jejuno. Mas, se as enzimas pancreáticas tiverem tempo para atuar. Nesse sentido, é importante o retardo do envio do quimo pelo estômago. Além do mecanismo do piloro, os estímulos de distensão, a secretina e o CCK atuam na musculatura gástrica inibindo sua contração (reflexo enterogástrico) e, ao contrário, na musculatura do cólon, ativando a contração.

Por fim, o quimo chegará ao ceco que se continua com as regiões do cólon: ascendente, transversa, descendente e sigmoide,

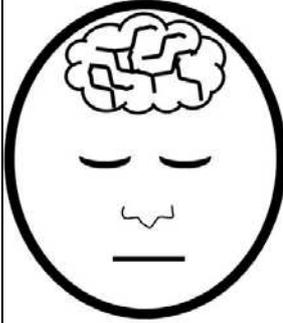
chegando ao reto. A peristalse opera nesse órgão através do movimento de massa, no qual a contração envolve uma região bem maior do que no intestino ou no esôfago. Com isso, uma grande quantidade (massa) é movimentada para adiante. Quando a onda alcança o cólon sigmoide, o movimento preenche então o reto. O reto é a última região do sistema, antes do ânus. Sua ligação com o ânus se dá através do esfíncter interno do ânus que é de músculo liso, comandado pelo SNE. O esfíncter externo do ânus (o ânus propriamente dito) é formado por musculatura do tipo esquelética e seu controle depende do SNC. A distensão do reto, pelo seu preenchimento com fezes, é percebida pelos sensores que informam aos gânglios do SNE. Imediatamente inicia a contração tentando dar continuidade à peristalse e, uma vez que a próxima estação é o ânus, ocorrer a defecação. Mas, para isso, é preciso que simultaneamente o ânus relaxe e permita o fluxo das fezes. Facilmente isso é observado nos bebês. O enchimento do tubo, com uma mamada, já resulta em defecação. Ou seja, ambos os esfíncteres atuam em sincronia. A medida que a criança cresce, faz-se necessário o aprendizado de regras, entre elas o local da defecação. Esse aprendizado só é possível porque o SNC controla o ânus e, mesmo que ocorra a abertura do esfíncter interno, ele pode enviar sinais inibitórios ao músculo do esfíncter externo, mantendo o ânus fechado.

Como descrito até então, é possível observar que o controle da motilidade e da secreção do sistema digestório é realizado através dos reflexos proporcionados pelo SNE, por ativação do SNC e por hormônios liberados pela mucosa gástrica e duodenal. E a peristalse foi descrita a partir do reflexo de estiramento da parede do tubo digestório, iniciando após a deglutição. No entanto, entre as refeições

ções, surgem ondas peristálticas no tubo digestório a partir do estômago. Isto é chamado de complexo motor migratório. Atenção: motor significa de motricidade, motilidade, movimento. A contração começa no corpo do estômago e segue todo tubo até alcançar o cólon - cerca de 90 minutos após o início, ou seja, a onda é lenta. Os pesquisadores sugerem que essa onda, que se repete algumas vezes ao longo de um dia, serve para “varrer” o tubo, impulsionando para adiante qualquer resto de digestão. Se não há a distensão da parede, estimulando os sensores, como é possível o surgimento da onda?

Todas as camadas musculares do tubo digestório são formadas por músculo liso. A contração desse músculo pelas vias descritas acima (SNC, SNE e hormônios) ocorre independente de nossa “vontade”, por isso ele é classificado de involuntário – veremos nos capítulos adiante que o músculo esquelético difere exatamente nisso. Além disso, esse músculo tem uma capacidade de ritmicidade – que nesse caso, o assemelha ao músculo cardíaco, como veremos no próximo capítulo. Pensar em ritmo, geralmente nos leva a algo envolvendo música ou dança. Tecnicamente, um ritmo é algo que se repete de forma regular, sempre no mesmo espaço de tempo. O ritmo do Sol e da Terra faz com que em 24 horas o sol volte a nascer, sempre! Então, é a ritmicidade do músculo liso que faz gerar a onda de contração peristáltica – sozinho, sem nenhum estímulo para isto – em intervalos do dia. A capacidade da ritmicidade é decorrente de aspectos moleculares da membrana desse tipo muscular, mas não abordaremos esses detalhes.

**exercite
sua mente**



Quais são os nutrientes fundamentais para a vida dos animais?

Qual são as possíveis estratégias para um animal obter oxigênio?

Como pode ser descrita a mecânica respiratória?

Por que existem variações da estrutura básica do sistema digestório entre os animais?

Qual a relação entre digestão e absorção?

Quais são as secreções digestivas e que diferenças existem entre delas?

Quais são os mecanismos de controle das funções do sistema digestório?

3. CIRCULAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NO CORPO

A partir do primeiro capítulo desse livro, estamos buscando compreender como os sistemas fisiológicos mantêm os animais vivos ou, na linguagem técnica, como a homeostase é mantida. No nível mais básico, é preciso suprir as células com nutrientes de modo a permitir a produção de ATP, garantindo a energia para todo o trabalho metabólico. No capítulo anterior, abordamos as estratégias fisiológicas para obter os nutrientes e chegamos até o ponto em que eles entram no enterócito – a célula da parede intestinal. Nesse momento de leitura, você certamente estará precisando de nutrientes em seu cérebro, porque ele está em atividade, gastando energia. Embora você tenha acabado de fazer uma refeição, os nutrientes estão “chegando” na região do abdômen, especificamente nos vasos sanguíneos entre o intestino e o fígado. Então, entra em ação o sistema de distribuição desses nutrientes, o sistema circulatório.

Sistema Circulatório e o Circuito do Sangue

O sistema circulatório providencia a circulação de substâncias no corpo. Para isto, ele precisará do sangue, dos vasos e do coração. Nos vertebrados, também há uma circulação linfática, cuja função é auxiliar a circulação sanguínea e participar de ações de proteção do organismo, integrando o sistema imunológico.

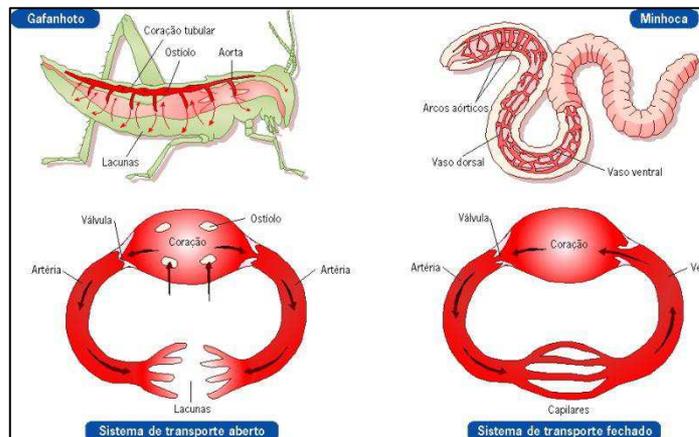
O primeiro passo é “desvendar” o termo circulação e outro associado a ele, circuito – para evitar um “curto-circuito” mental! Circulação é a ação de circular, seguir um caminho (um circuito). O que

circula é o sangue e o caminho são os vasos (e também o coração). O problema é que isso gera uma ideia de círculo, ou seja, que o caminho é em forma de círculo. Veremos que o circuito sanguíneo é muito distante de algo em forma de círculo. Um aspecto que essa ideia ajuda é que, o sangue que estiver passando no coração em um dado momento, irá percorrer o corpo e então VOLTARÁ a passar novamente no coração (isso se repetirá milhares de vezes ao dia). Por isso que é chamado circulação, vai e volta.

O que acabamos de descrever não serve a todos os animais. Alguns não possuem sistema circulatório (p.ex., os vermes) e os moluscos e artrópodes apresentam uma circulação aberta, cujo líquido é a hemolinfa. É dito circulação, nesse último caso, porque ainda há vasos e um coração. Ou melhor, vários “corações” que são bolsas musculares que se localizam no dorso do animal e “esprem” a hemolinfa que passa por eles. Ligada a esses corações, existem vasos que seguem em direção ventral e terminam em espaços abertos (daí o nome circulação aberta). A hemolinfa retorna ao coração dorsal por pequenas aberturas dele (ostíolos) (figura 20).

Nos anelídeos e nos vertebrados, o sistema é de circulação fechada. Isso quer dizer que não há nenhuma abertura. O sangue sempre sai de um vaso e vai para outro ou sai do coração para um vaso ou sai do vaso para o coração. Observe que o coração também é parte do sistema e que o sangue também “passa” por ele. Essa é uma característica muito importante: o sangue não para! “*Não para, não. Não para!*” (para lembrar uma música da MPB). Em nenhum momento ele pode ficar acumulado em algum ponto de nosso corpo, estagnado, como uma água parada. Quando isso acontece, o sangue coagula e literalmente entope o vaso e bloqueia a circulação.

Figura 20: Ilustração dos tipos de sistema circulatório: aberto e fechado.



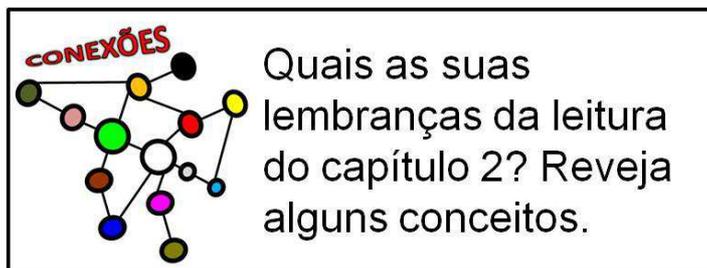
Fonte: <http://biotic.no.sapo.pt/u1s2t1.html>

Outra característica importante é que o sangue circula em um único sentido. Tomando o coração como uma referência, a “porta” por onde o sangue entra não é a mesma por onde ele sai. E o sangue não pode sair pela porta de entrada ou entrar pela porta de saída. Há estruturas, denominadas de válvulas ou valvas, que impedem o refluxo. Ou seja, o fluxo é seguir uma única direção dentro do circuito. Para o sangue fluir no circuito dos vasos ele precisa de um “impulso” que é dado pelo coração, que faz a função de bomba. Esse termo vem de bombear, tal qual um motor (a bomba) que “puxa” a água de reservatório, ou seja, bombeia a água. O coração é um músculo que, ao se contrair, bombeia o sangue no seu fluxo.

No capítulo anterior, foi descrito que muitos animais combinam o sistema respiratório com o circulatório, estratégia que torna muito eficiente a chegada do oxigênio (O_2) às células. Brânquias e pulmões são especializados em fazer a hematose. O sangue rico em O_2 é aquele que “acabou de sair” dessas estruturas e ele é comumente denominado de sangue arterial. O sangue com pouco O_2 e

muito dióxido de carbono (CO_2) é aquele que acabou de chegar às estruturas respiratórias, e é comumente denominado de sangue venoso – esses termos, arterial e venoso, podem induzir um erro que será exemplificado adiante. O fluxo unidirecional do sangue favorece que o máximo de sangue venoso se “transforme” em arterial (a hematose). Atenção: a seguir será descrito que, nos peixes, só passa no coração o sangue venoso. Mas é equivocado dizer que esses animais só tem esse tipo de sangue.

Vamos usar a circulação nos peixes para ilustrar as características descritas acima.



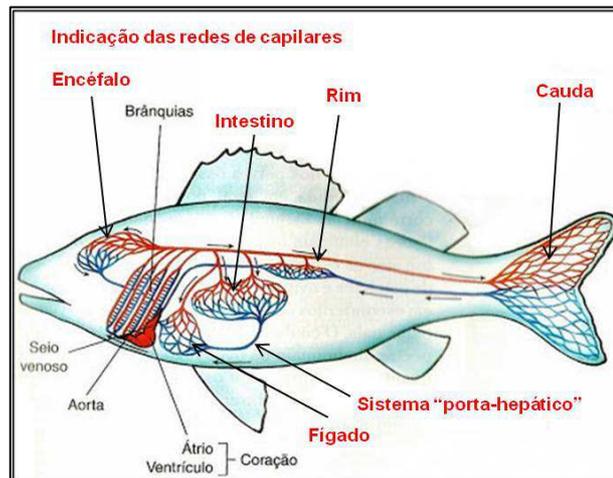
Fonte: da autora

Na anatomia desses animais, localizamos o coração na região ventral-anterior, posterior às brânquias (figura 21). O coração é dividido em duas cavidades ou câmaras: o átrio (ou aurícula) e o ventrículo, ao qual está ligada a artéria aorta, por onde o sangue venoso é bombeado em direção às brânquias. Atenção: a aorta é uma artéria, mas o sangue é venoso, por isso é preciso ter cuidado com essa terminologia para não confundir. Depois de realizada a hematose, o sangue arterial segue, através de outras artérias, para as várias partes do animal deixando o O_2 e coletando o CO_2 (a segunda troca gasosa). Então, retorna ao coração através de veias, chegando ao seio venoso.

Ao seguir um sentido único, a circulação garante que a hematose do sangue ocorra com o máximo de eficiência. Reflita: se houvesse um “caminho” por onde o sangue que saísse das brân-

quias voltasse até elas, a quê isso serviria? O sangue já teria O_2 suficiente. Então, ao passar novamente pelas brânquias, não faria nenhuma troca a mais. Enquanto isso, ele “perdeu tempo” de levar esse O_2 para as células do corpo.

Figura 21: Ilustração do sistema circulatório de um peixe osteíte. As linhas desenhadas em azul representam o sangue venoso; as linhas desenhadas em vermelho representam o sangue arterial. Atenção: o coração está ilustrado em vermelho, mas o sangue que passa por ele é venoso. Os textos em vermelho estão indicando as redes de capilares ilustradas (há muitas outras que não aparecem na ilustração). Observar a indicação do sistema “porta hepático”.



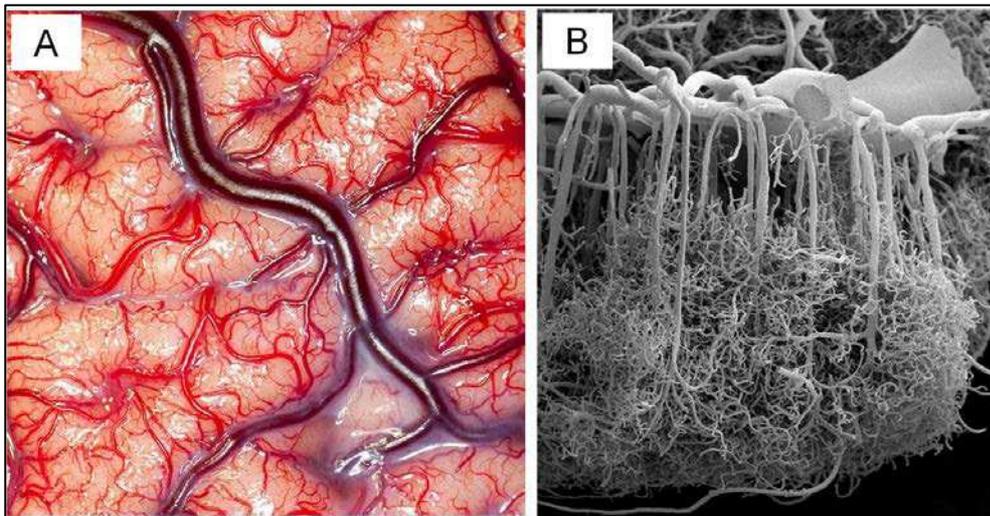
Fonte: adaptado de <http://peixes2010.blogspot.com.br/p/nnnn.html>

Na figura 21 são destacadas algumas redes de capilares: nas brânquias, no encéfalo, no rim, na cauda, no intestino e no fígado. Mas, em todo o corpo do animal existem redes de capilares. Elas apenas não estão ilustradas no desenho para permitir a melhor compreensão. Na discussão sobre homeostase, lá no capítulo 1, vimos que os capilares são os mais finos vasos (e microscópicos), os quais têm acesso às células para levar os nutrientes e recolher resíduos (veja as figuras 3 e 4). Só os capilares podem realizar as trocas. Mas, para isto, o sangue precisa chegar até eles (“abastecimento”) e ter por onde sair deles, após as trocas. Isto é realizado

pelos vasos de condução do sangue: artérias e arteríolas (abastecendo) e vênulas e veias (recolhendo).

As artérias se ramificam várias vezes, cada vez surgindo um vaso mais fino. Cada ramificação arterial também se ramifica até formar arteríolas, mais finas ainda, e levam o sangue até o início da rede capilar. Em algum momento, antes mesmo de chegar aos capilares, essas ramificações já se tornam microscópicas e não visíveis a olho nu (sem o auxílio de equipamentos) (figura 22). É nessa rede onde ocorrem as trocas. Após isto, “fechando a rede”, o sangue flui para vasos também finos, as vênulas, que se reúnem formando as veias, que são mais grossas ou calibrosas.

Figura 22: Em A, foto de tecido cerebral humano na qual se evidencia um artéria principal e suas ramificações e as ramificações destas; em B, fotomicrografia de tecido cerebral humano evidenciando ramos de arteríolas e a formação das redes de capilares.



Fonte: A - <http://www.wired.co.uk/news/archive/2012-06/21/wellcome-image-awards>; B - <http://www.livescience.com/14413-brain-images-portraits-mind.html>

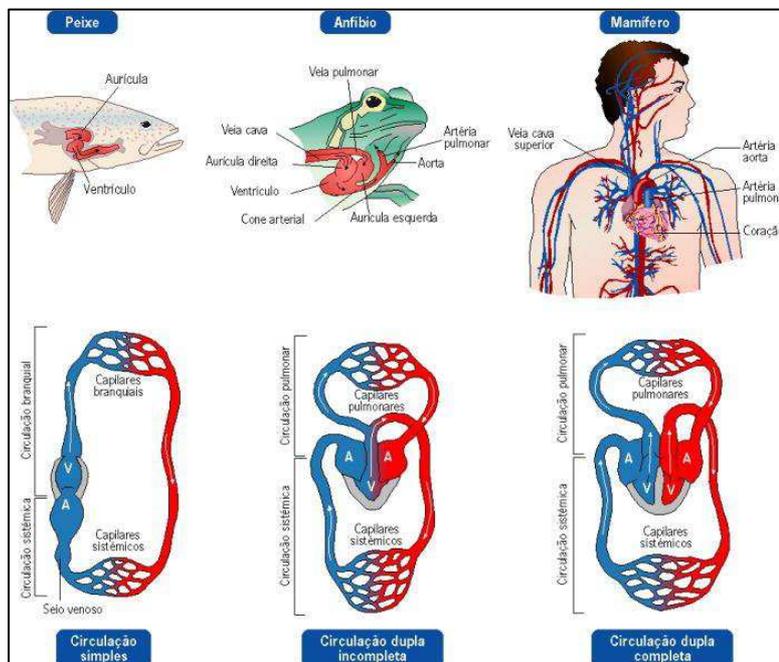
O sistema dos peixes forma uma circulação fechada simples, isso porque o sangue só passa uma única vez pelo coração (ou seja,

por suas câmaras). O circuito básico é: capilares sistêmicos, vênulas, veias, átrio (coração), ventrículo (coração), artéria aorta dorsal, arteríolas, capilares branquiais, artéria aorta dorsal, arteríolas, capilares sistêmicos... Observe: 1 – o circuito volta ao início; 2 – se começássemos a descrever de qualquer outro ponto (p.ex. do ventrículo), o circuito terminaria nele, do mesmo jeito; 3 – separamos capilares sistêmicos de branquiais. O termo sistêmico significa uma generalização para todas as partes do corpo, exceto as brânquias (e os pulmões – o que será visto adiante). Nesse sentido, é possível concluir que o circuito descrito acima se “repete” várias vezes! Basta substituir o termo, p.ex.: capilares do fígado, vênulas, veias, átrio, ventrículo, etc.

Para os animais com respiração pulmonar, um novo circuito foi necessário e, desse modo, o sangue passa duas vezes no coração, formando a circulação fechada dupla. Além disso, também fluirá pelo coração o sangue arterial. Anfíbios e répteis possuem um coração com três câmaras: dois átrios e um ventrículo, enquanto o coração de aves e mamíferos possui quatro câmaras: dois átrios e dois ventrículos (figura 23). O coração continua com a função de bombear o sangue, só que agora para dois circuitos simultaneamente. O fluxo continua em sentido único e soma-se ao novo circuito para aumentar ainda mais a eficiência na hematose.

No caso do coração com três câmaras, ocorre a circulação incompleta, considerando que há uma pequena mistura do sangue venoso com o arterial no único ventrículo. A circulação completa é possível com a segmentação em quatro câmaras. O circuito, nesse caso, passa a considerar o coração dividido. O lado direito servindo à circulação pulmonar e o esquerdo, à circulação sistêmica.

Figura 23: Ilustração comparando os tipos de circulação de peixes, anfíbios e mamíferos. Observar a diferença nos compartimentos do coração de cada um deles. Em azul, está representado o sangue venoso e, em vermelho, o sangue arterial.



Fonte: <http://senesis.blogspot.com.br/2012/02/sistema-circulatorio-sistema.html>

O circuito da circulação pulmonar ou pequena circulação envolve a chegada do sangue de todo o corpo (sangue sistêmico) no átrio direito, que se comunica com o ventrículo direito. Este envia o sangue para a artéria pulmonar que leva o sangue (venoso) até o pulmão e a rede de capilares alveolares. As vênulas pulmonares recolhem o sangue (arterial) para a veia pulmonar que leva o sangue para o átrio esquerdo. Nesse ponto começa o circuito básico da circulação sistêmica ou grande circulação. O átrio esquerdo envia o sangue para o ventrículo esquerdo que se contrai e ejeta o sangue para a aorta. A aorta se ramifica fazendo chegar sangue na porção anterior e posterior dos animais e, através das suas ramificações, nas redes de capilares sistêmicos. Destes, o sangue retorna pelas vênulas e veias até o átrio direito, reiniciando o circuito. O retorno

desse sangue sistêmico é denominado de retorno venoso e adiante serão descritos mecanismos importantes para manter o fluxo vindo das partes inferiores do animal.

A circulação pulmonar e a sistêmica estão totalmente ligadas. Não há interrupção do fluxo do sangue. A passagem dupla pelo coração é o que garante a “força” para o fluxo, ou seja, para o movimento de circular, conforme será detalhado.

É claro que o sangue também distribui os demais nutrientes e remove os demais resíduos. O destaque feito ao transporte de O₂ e CO₂ foi para esclarecer a importância do sentido único do fluxo do sangue e as terminologias tão utilizadas: sangue arterial e venoso. Ambos os tipos sanguíneos transportam os demais nutrientes. Considerando este aspecto, encontramos uma situação na qual o circuito básico é alterado minimamente: o sistema porta hepático (reveja a figura 21). Nele, a saída da rede de capilar segue por uma veia, denominada de veia porta, mas irá se ramificar novamente para se inserir na rede de capilares do fígado. A importância disto foi descrita no capítulo anterior.

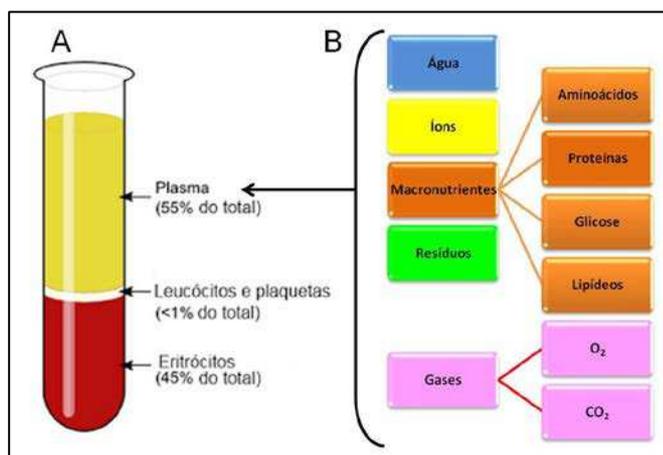
O Sangue e Transporte de Gases

A função de transporte de substâncias pelo sistema cardiovascular depende do sangue. Por isso, é preciso compreender o que ele é e de que modo as substâncias podem entrar, ficar ou sair dele.

Pela nossa vivência, sabemos que o sangue é um fluido – algo que “corre” como um líquido. Tecnicamente, ele é um tecido conjuntivo formado por células (algumas vezes denominadas de elementos figurados) que se distribuem dentro do plasma (LEC-p).

Se for centrifugada (girar em alta velocidade) uma porção de 100 ml de sangue em um tubo de ensaio, ao final da centrifugação, os elementos figurados serão sedimentados (ficarão no fundo do tubo) e a parte líquida ficará separada. Esse preparo permite observar que mais da metade do conteúdo do sangue é de plasma (aproximadamente 55%), enquanto a parte figurada é dividida entre leucócitos ou glóbulos brancos e plaquetas (menos de 1%) e eritrócitos ou hemácias ou glóbulos vermelhos (aproximadamente 45%) (figura 24).

Figura 24: Ilustração da composição do sangue. Em A, a proporção de plasma, leucócitos e plaquetas e hemácias em uma porção de sangue centrifugado. Em B, a composição dos elementos dissolvidos no plasma. Observar que entre os elementos estão aminoácidos e também proteínas – proteínas plasmáticas que realizam o transporte de substâncias ou participam da coagulação ou na defesa do organismo.



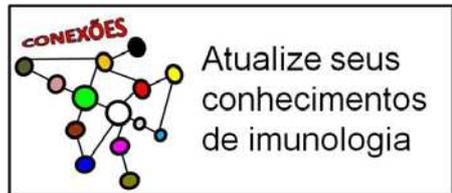
Fonte: A - <http://www.teliga.net/2011/08/sangue-e-orgaos-hemocitopoieticos.html>;
B – da autora.

O plasma é basicamente água com substâncias dissolvidas nela. O que não se dissolve em água (substâncias hidrofóbicas) é transportado por proteínas que são hidrofílicas. P.ex., o colesterol é transportado por uma lipoproteína (pode ser HDL ou LDL). Os gases também estão dissolvidos no plasma, mas em proporção muito pequena. Cerca de 2% de todo O_2 e 7% de todo CO_2 , são transporta-

dos dissolvidos no plasma. Por isso a importância dos eritrócitos, abordada adiante.

Os leucócitos são células imunológicas e atuam na defesa contra microorganismos que chegam ao sangue. P.ex., os neutrófilos, um tipo de leucócito, podem capturar bactérias através da fagocitose formando o pus. Há vários tipos de leucócitos e cada um tem uma função diferente no sistema imune. Certamente você já viu esse conteúdo em imunologia.

As plaquetas são fragmentos de células sem núcleo que atuam na coagulação do sangue. Esses fragmentos se deslocam livremente no plasma, mas são capazes de identificar quando ocorre algum dano ao vaso sanguíneo, ou seja, quando há um rompimento na parede do vaso. Imediatamente, as plaquetas se agregam ou se juntam em torno do local formando um



Fonte: da autora

tampão plaquetário. Essa é uma estrutura provisória com função de evitar a saída do sangue do vaso. O tampão será “amarrado” pela fibrina – oriunda do fibrinogênio, uma proteína plasmática. A fibrina forma uma espécie de rede sobre o tampão, juntando também eritrócitos, formando o coágulo.

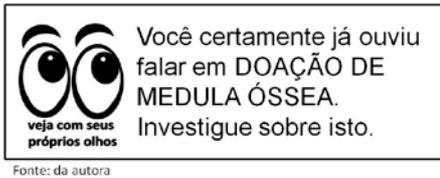
O tampão e o coágulo permitem que a parede do capilar se recupere e feche o vazamento. Quando isso ocorrer, o coágulo é dissolvido por outros elementos presentes no plasma. Quando sofremos algum ferimento ou corte, a cicatrização envolve a formação de coágulos no local (a “casquinha” da ferida). Na dengue, a quantidade de plaquetas do sangue reduz muito e por isso há risco de he-

morragia.

Os eritrócitos são os principais transportadores dos gases. São células de cor vermelha, sem núcleo e que têm formato de disco com centro côncavo. Pode-se fazer uma analogia com uma broa de milho (ou de outro sabor), só que amassada para dentro, no centro. Apesar desse formato, o eritrócito é bem flexível, permitindo modificações ao passar pelos finos capilares. A cor vermelha vem da hemoglobina, que é um pigmento com grande afinidade pelo oxigênio. Além dela, o eritrócito carrega a enzima anidrase carbônica.

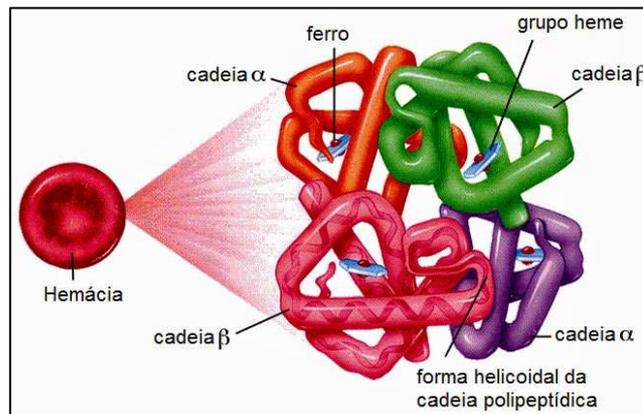
A hemoglobina é formada por quatro proteínas (duas cadeias α - alfas e duas cadeias β - betas). Cada cadeia é ligada a um grupo heme e um íon de ferro (figura 25). É justamente o ferro que tem forte afinidade pelos gases, principalmente o O_2 . Isso quer dizer que, quando existe O_2 em quantidade próximo ao ferro, ele forma uma ligação química com ele. O ferro também tem afinidade com O_2 , não tão forte quanto o O_2 . Vamos fazer uma analogia com uma festa de São João. Na quadrilha, todo mundo tem um par, esse é o de maior afinidade. Mas, de vez em quando, muda o parceiro para um “balance”. Cada hemoglobina pode transportar até quatro moléculas de O_2 . E em cada hemácia há milhares de hemoglobinas. Em um milímetro cúbico de sangue, aproximadamente uma gota, há cerca de 5 milhões de eritrócitos!

Os leucócitos, as plaquetas e os eritrócitos são produzidos pela medula óssea de alguns ossos (p.ex., o fêmur) e então jogados no sangue. Na medula, há “células tronco”, que são células indiferenciadas, ou seja, não possuem uma identidade ainda. A partir de sinais hormonais, essas células se diferenciam e amadurecem for-



mando um dos tipos celulares sanguíneos. No sangue, o tempo de vida dos leucócitos varia em relação aos tipos. Já as plaquetas duram cerca de 10 dias e os eritrócitos quatro meses. Após isso, seus componentes celulares são inativados e degradados, uma parte sendo excretada pela bile ou pela urina. Mas, todos os dias a medula produz novas células sanguíneas. Ou seja, há células mais “jovens” e outras “mais velhas”. Conforme a necessidade, a quantidade de células produzidas pode aumentar.

Figura 25: Ilustração da estrutura do pigmento hemoglobina do eritrócito.



Fonte: <http://lucindamorais.blogspot.com.br/p/proteinas-estrutura-e-funcao.html>

O controle da produção dos eritrócitos se dá pelo hormônio eritropoetina que é produzido nos rins. Mas também é necessário que o íon ferro esteja disponível no meio interno (dentro da faixa homeostática desse item). O ferro é obtido através da alimentação. Por isso, uma alimentação pobre em ferro pode levar à anemia. Essa é uma doença em que há uma redução na quantidade de eritróci-

tos no sangue. Sem ferro, não há hemoglobina. E sem hemoglobina, não há eritrócito. Os sintomas são fraqueza, sonolência, cansaço e palidez (pela ausência do pigmento no sangue). Há outras causas de anemia, mas a ferropriva (privada de ferro) é muito comum em crianças. A ausência de vitamina B12 e do ácido fólico (ou vitamina B9) na alimentação também causa anemia. Alimentos como feijão, couve, beterraba, abacate, fígado, carne vermelha, entre outros, são ricos nesses nutrientes. Os sintomas da anemia demonstram a importância da hemoglobina para o transporte de oxigênio e, por sua vez, para a produção de energia pelas células. Sem energia, há o cansaço.



Fonte: da autora

Conforme você já aprendeu, os gases seguem seu gradiente de pressão parcial. Então, o transporte deles no sangue também será regido por essa Lei. Para compreender o transporte, vamos começar a partir do pulmão no momento em que o alvéolo se enche com ar novo (após uma inspiração). O sangue que chega ao pulmão vem do ventrículo direito (circulação pulmonar) – que ejetou o sangue do retorno venoso e é pobre em O_2 . Assim, haverá maior quantidade de O_2 no alvéolo do que no capilar que envolve o alvéolo. Por outro lado, as hemoglobinas dos eritrócitos estão ligadas às moléculas de CO_2 (aquele momento do balancê na “quadrilha”).

Por difusão simples, o O_2 passa pelas paredes do alvéolo e

do capilar e entra no plasma. Aqui entra um “problema” (e também a solução): o O₂ é pouco solúvel na água. Por isso, seu transporte no plasma não é eficiente para as necessidades das células. A existência dos eritrócitos cheios de hemoglobina resolve essa questão. Nesse ponto, o eritrócito tem “pouco” de O₂, comparado ao plasma. Com isso, esse gás passa por difusão para dentro do eritrócito. A chegada de O₂ faz com que imediatamente a hemoglobina se desligue do CO₂ e se ligue ao O₂ (o “melhor par” chegou!). A combinação de O₂ e hemoglobina forma um composto denominado de oxiemoglobina. Por sua vez, o CO₂ livre dentro do eritrócito estará em maior quantidade do que no plasma, impulsionando seu movimento para esse compartimento. Do plasma, o CO₂ segue para o alvéolo e de lá, para o exterior. Essa é a primeira troca gasosa, a hematose. Quase todo O₂ é transportado como oxiemoglobina (98%), o restante vai dissolvido no plasma (2%).

O sangue é devolvido ao coração (pelo átrio esquerdo) e enviado para a circulação sistêmica (pelo ventrículo esquerdo) seguindo pela aorta e todas suas ramificações. Ao chegar às redes de capilares sistêmicos, terá início a segunda troca de gases. Nesse ponto, o sangue chega arterial, rico em O₂ – as hemoglobinas estão ligadas a ele. As células da vizinhança do capilar estarão com mais CO₂ que o sangue, principalmente se elas estiverem em atividade. P.ex., as células musculares durante um exercício, consomem muito O₂ e liberam muito CO₂. Então, no LIC e no LEC-i haverá muito CO₂ e quase nada de O₂. O gradiente de pressão parcial faz o O₂ que está dissolvido no plasma sair do sangue, atravessando o LEC-i entrar na célula. Com isso, o espaço no plasma “força” a hemoglobina a liberar o O₂ ligado a ela. Essas moléculas saem do eritrócito em

direção ao plasma e de lá para o LIC. Simultaneamente, o CO_2 acumulado, faz o caminho inverso.

Contudo, a relação entre CO_2 e hemoglobina não é tão afinada. Uma parte desse gás consegue “tirar a hemoglobina para dançar”, se ligando a ela no complexo carboaminoemoglobina, sendo transportado por ela (23% do total). Mas, muito do CO_2 que entra no eritrócito, sofre uma modificação química coordenada pela enzima anidrase carbônica – AC (que é o outro componente do eritrócito, lembra?). A AC combina CO_2 com água e forma o íon bicarbonato (HCO_3^-). Uma vez combinado, o HCO_3^- sai do eritrócito e vai para o plasma, permitindo que novas combinações sejam providenciadas. Cerca de 70% do CO_2 é transportado na forma de bicarbonato. Nessa transformação também são liberados íons hidrogênio (H^+). Muito H^+ livre produz acidez do sangue, mas o pH precisa ser mantido dentro da faixa homeostática. Então, a maioria desses íons se liga a hemoglobina e uma pequena parte escapa para o plasma. Esse fenômeno é chamado de tamponamento, porque faz um “tampão” evitando que o pH se altere.

Diferentemente do O_2 , o CO_2 é mais solúvel em água e por isso é transportado dissolvido no plasma em maior quantidade (7%). Nessa composição, o sangue sai dos tecidos e é recolhido ao coração (retorno venoso), de onde segue para a circulação pulmonar. O início da descrição trazia a hemoglobina associada em carboaminoemoglobina. Ali não foi indicado, mas o sangue venoso também traz o HCO_3^- e H^+ ligado à hemoglobina. Essas ligações serão agora desfeitas e CO_2 seguirá para o alvéolo e de lá para o exterior.

O plasma tem sempre O_2 , CO_2 , HCO_3^- e H^+ dissolvidos, em

maior ou menos quantidade, conforme a dinâmica do transporte no corpo. São as moléculas que estão no plasma que funcionam para ativar os sensores para respostas locais do vaso e também para acionar o sistema nervoso, que regula e integra o sistema respiratório e o cardiovascular, descrito adiante. Independente do sistema nervoso, o fluxo sanguíneo é mantido pela propriedade “natural” (intrínseca) do músculo cardíaco de gerar sua própria contração.

Coração Humano e Ciclo Cardíaco

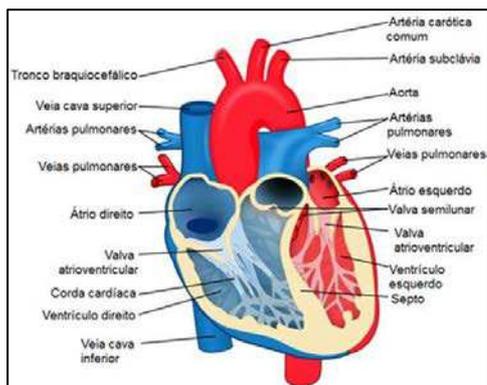
O coração humano é um órgão muscular com quatro câmaras que tem a função de bombear o sangue para a circulação pulmonar e sistêmica. Para tanto, o lado direito e o esquerdo desse órgão são separados por uma grossa parede de tecido fibroso na altura dos ventrículos, o septo (figura 26). Assim, átrio e ventrículo direito trabalham para a circulação pulmonar, enquanto as câmaras esquerdas para a circulação sistêmica.

Para bombear, primeiro é preciso “recolher” uma quantidade de sangue, que chega através das veias ao átrio. O sangue recolhido é então ejetado na contração do ventrículo, entrando nas artérias. Estão ligadas ao coração: as veias cavas (inferior e superior), que trazem o retorno venoso ao átrio direito; quatro veias pulmonares (superior direita e esquerda e inferior direita e esquerda), que trazem o sangue arterial após a hematose para o átrio esquerdo. A artéria pulmonar leva o sangue do ventrículo direito para a circulação pulmonar; e a artéria aorta que leva o sangue para a circulação sistêmica. Importante estar atento que a conexão entre as artérias e os ventrículos ocorre na região superior (figura 26).

Embora o lado direito e o esquerdo sejam separados física-

mente pelo septo, há uma sincronia de ação entre átrios e entre ventrículos. Cada átrio recolhe sangue de origem diferente e cada ventrículo ejeta sangue para uma artéria diferente ao mesmo tempo. O destino diferente é garantido pela separação do septo. Atenção: o lado direito serve à circulação pulmonar e o esquerdo à sistêmica; mas os átrios recolhem sangue e ventrículos fazem a ejeção dele, tanto o direito quanto o esquerdo, de tal modo que eles trabalham juntos. O movimento de contração das câmaras é denominado de sístole, enquanto o momento de relaxamento (ou não contração) é denominado de diástole.

Figura 26: Ilustração da anatomia interna do coração e dos vasos que se comunicam com ele.



Fonte: <http://rachacuca.com.br/educacao/biologia/sistema-cardiovascular/>

No trabalho de recolher e ejetar o sangue, o coração tem que assegurar também a manutenção do sentido único do circuito do sangue. Para isso, átrios e ventrículos são separados pelas valvas atrioventriculares. A valva tricúspide, com três membranas (ou cúspides), separa o átrio direito do ventrículo direito. A valva bicúspide separa as duas câmaras esquerdas. Essas valvas são presas ao interior dos ventrículos através de cordas tendíneas (ou corda cardíaca). O fluxo das artérias de saídas dos ventrículos é controlado pe-

las valvas semilunares. A seguir, será descrito como a contração de átrios e ventrículos e o fechamento dessas valvas atuam em harmonia para formar o ciclo cardíaco (figura 27).

Primeiramente, tenha em mente que, a qualquer momento do dia ou da noite, há sangue nas diferentes partes do circuito cardiovascular. O volume mínimo de sangue para atender à homeostase é chamado de volume de “enchimento”. Com esse volume, todas as câmaras cardíacas, todos os vasos de condução e a maioria dos capilares em suas redes estão com sangue em seu interior. Conforme já foi apontado, esse sangue não está parado. Esse “qualquer momento” é algo como se tirássemos uma foto instantânea. Na descrição do ciclo cardíaco, estaremos focando o fluxo do sangue dentro do coração.

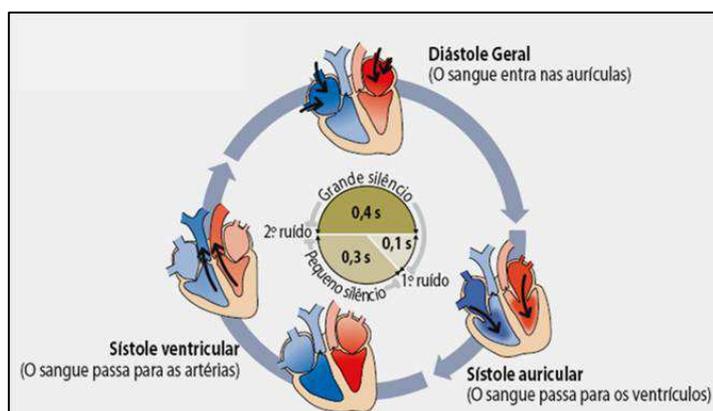
Todo ciclo pode ser descrito a partir de qualquer ponto. Se for um ciclo, haverá o retorno a este ponto na sequência. Academicamente, o momento 1 do ciclo cardíaco é a diástole geral – nesse ponto, os átrios estão relaxados (em diástole): o átrio direito recebe o sangue do retorno venoso vindo das veias cavas; o átrio esquerdo recebe o sangue arterial vindo da veia pulmonar; os ventrículos também estão em diástole; as valvas atrioventriculares (direita e esquerda) e as valvas semilunares estão fechadas (figura 27).

No momento 2, irá ocorrer a sístole atrial: inicialmente, o sangue que chegou aos átrios no momento 1 começa a fazer peso sobre as valvas atrioventriculares. As cúspides dessas valvas são em forma de “concha”, com a abertura para o lado do ventrículo. Quando estão fechadas, formam o assoalho dos átrios. Mas, o peso do sangue faz elas se abrirem e deixar o sangue escorrer para den-

tro do ventrículo. Esse é o enchimento ventricular passivo. Para completar o enchimento, os átrios entram em sístole. Essa contração empurra o resto do sangue que ainda estava na câmara, o término do enchimento ventricular (figura 27).

Figura 27: Ilustração descrevendo os eventos do ciclo cardíaco. Observe que o termo sístole ventricular está entre dois desenhos de coração – no primeiro essa sístole é isovolumétrica e, no segundo, promove a ejeção; no círculo central, silêncio e ruído se referem à auscultação cardíaca (escutar o batimento do coração).

Acompanhe no texto a descrição dos eventos.



Fonte: <http://www.museuescola.ibb.unesp.br/subtopico.php?id=2&pag=2&num=7&sub=34>

O momento 3 é o da sístole ventricular isovolumétrica: após a chegada do sangue dos átrios, os ventrículos começam a se contrair DE BAIXO PARA CIMA. Ou seja, da ponta para a base. Isso empurra o sangue que está no ventrículo contra as valvas atrioventriculares (em forma de “conchas”) e para as saídas arteriais. As “conchas” se enchem e são empurradas na direção do átrio, mas as cordas tendíneas fazem com que elas resistam a essa força, formando uma “tenda”. No momento em que o sangue empurra as cúspides, elas batem umas sobre as outras fechando a passagem para o átrio. Isso produz um som ou ruído, também chamado de primeiro som cardíaco ou bulha cardíaca. Quem já escutou o coração

batendo, sabe que ele emite dois sons: tá-tum. Este seria o “tá”. Importante ressaltar que as valvas semilunares continuam fechadas e, por isso, embora o ventrículo tenha se contraído, não houve mudança de volume de sangue (o sangue não saiu dali), por isso denomina-se “isovolumétrica”. Também, que nesse mesmo momento, enquanto o ventrículo se contrai, está chegando sangue aos átrios, que estão isolados dos ventrículos com o fechamento das valvas atrioventriculares (figura 27).

O momento 4 é a ejeção resultante da sístole ventricular: a força da contração do ventrículo aumenta e é suficiente para abrir as valvas semilunares (as atrioventriculares permanecerão fechadas). As semilunares também tem formato de concha, mas a abertura está voltada para dentro da artéria. Assim, o sangue é empurrado no “dorso” das cúspides forçando sua abertura. O sangue entra nas artérias com grande pressão, por isso é dito que ele foi ejetado. A medida que o sangue sai do ventrículo e entra nas artérias, a pressão vai diminuindo, até que a contração para. Nesse momento, o sangue ejetado perde a força para empurrar o conteúdo arterial e, pela diferença de pressão, tenta refluir para dentro dos ventrículos. Entretanto, primeiramente, esse refluxo enche as conchas das valvas semilunares que então se fecham, produzindo o segundo som cardíaco (o tum!). O fechamento das valvas semilunares, com o relaxamento do ventrículo, faz o coração voltar ao momento 1 do ciclo (figura 27).

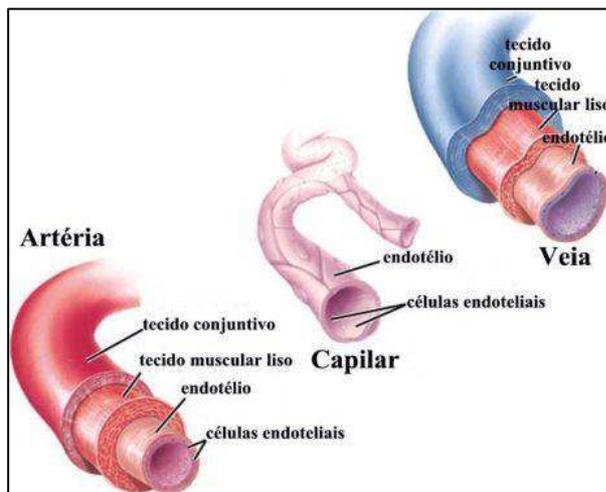
Pressão Arterial e Fluxo Sanguíneo

Ao sair do coração, o sangue é ejetado com toda a força contra as paredes das artérias. Logo no início do livro, descrevemos que os capilares eram os mais finos vasos, cuja parede era formada

apenas por uma camada de células, o endotélio. A parede dos demais vasos, os vasos de condução, apresenta outras camadas.

As artérias são consideradas um reservatório de pressão, porque recebem a “força” da contração do coração e “absorvem” ela com estiramento (elasticidade). Isso é possível porque as artérias possuem uma grossa camada de músculo liso, acima do endotélio, e uma camada de tecido conjuntivo, acima da muscular (figura 28). Na hora da ejeção, artéria pulmonar e aorta se dilatam. Com a diástole ventricular e o fechamento das semilunares, ao retornar ao seu tamanho, as artérias empurram o sangue para frente, como uma onda ou um pulso – a porção adiante irá se distender e posteriormente devolver a força, empurrando para frente. Ou seja, esse primeiro movimento decorrente da ejeção, irá repercutir em todos os setores do circuito, como uma cascata. Mas, a força da onda depende do retorno das artérias a sua largura original.

Figura 28: Ilustração caracterizando a estrutura dos vasos sanguíneos.



Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/FisiologiaAnimal/circulacao2.php>

Artérias se comunicam com arteríolas, cuja diferença estrutural, além da redução do calibre, é a perda da camada de tecido conjuntivo, restando uma camada muscular não muito espessa. A onda de pressão que surgiu nas artérias ligadas ao coração chega até as arteríolas, mas com menor intensidade. Contudo, ainda há um gradiente que faz o sangue sair do local de maior para outro de menor pressão, garantindo o fluxo no circuito. Ou seja, a artéria tem pressão maior do que arteríola; esta última, maior do que os capilares; e os capilares, maior do que as vênulas. Seguindo esse raciocínio, o ponto de maior pressão no circuito é o ventrículo esquerdo, enquanto o de menor é o átrio direito. Isso garante a circulação sistêmica. A circulação pulmonar exige menor pressão, garantida pela contração do ventrículo direito, suficiente para o sangue retornar para o átrio esquerdo.

Comparativamente às artérias, o ambiente nas veias tem menor pressão e, com isso, o sangue pode se acumular nelas. Por isso as veias são denominadas de reservatório de volume. Ora, o “sangue não para!!” (lembra?). Como é possível “acumular”? A analogia da cisterna usada no primeiro capítulo explica facilmente essa questão. Embora a cisterna acumule água, na condição de ter um furo embaixo e uma torneira aberta, em cima, faz com que aquela água nunca seja a “mesma”, pois está continuamente sendo trocada. É exatamente assim que funcionam as veias. As veias são mais calibrosas do que as artérias e possuem menos tecido elástico (a camada muscular é menos espessa) e isso favorece que elas sejam alargadas (figura 28). As vênulas não possuem camada muscular e apenas a conjuntiva, sendo mais finas do que as veias.

As veias que atuam como reservatórios estão principalmente

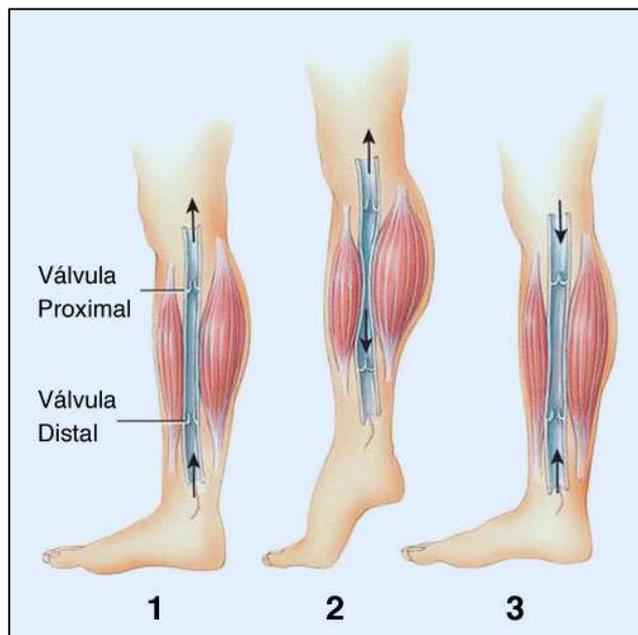
na região inferior do corpo, pernas e abdômen. As veias cavas são responsáveis pelo retorno venoso – denominação dada ao sangue que retorna ao coração vindo da circulação sistêmica. O retorno das porções superiores do corpo (cabeça e tórax) é favorecido pela força da gravidade. Mas, a parte inferior precisa “lutar” contra essa força. A onda de pressão iniciada pelo ventrículo esquerdo ainda pode ser identificada fracamente como um pulso venoso (você pode senti-lo palpando com o indicador e o dedo médio, juntos, a veia do seu tornozelo). Esse pulso cria uma diferença de gradiente de pressão entre a parte mais inferior (p.ex., o pé) com as mais superiores (p.ex., a coxa). O fluxo é bastante lento e a força da gravidade induz o refluxo.

A primeira estratégia para ajudar no retorno venoso são as valvas venosas. Funcionam exatamente como as valvas cardíacas. As “conchas” são voltadas para cima, evitando que o sangue que conseguiu “subir” em direção ao abdômen retorne. A segunda estratégia é a bomba muscular esquelética (figura 29). Esse mecanismo está apoiado no fato de que humanos primitivos (e todos os outros animais) precisavam se deslocar para buscar comida. Caminhar era parte da rotina e isso garantia o fluxo constante no sistema circulatório, uma vez que os músculos das pernas “bombeiam” o sangue “por fora”. Ou seja, ao se contrair, os músculos pressionam as veias que passam entre eles e cria um ambiente de maior pressão, comparado ao ambiente mais acima na veia. Com isso, o sangue flui e o refluxo é impedido pelas valvas (figura 29).

O terceiro mecanismo é denominado de bomba respiratória e ele vai exigir você lembrar-se do ciclo ventilatório (reveja a figura 10). Na inspiração, o diafragma é empurrado para dentro do abdômen, diminuindo o espaço naquela região (o que aumenta a pres-

são) e aumentando o espaço do tórax (diminuindo a pressão), esse gradiente favorece o sangue fluir das regiões do abdômen para o tórax a cada inspiração, auxiliado pelos demais mecanismos, incluindo o pulso cardíaco. A dificuldade do retorno venoso da parte inferior do corpo é a base da manobra de socorro às pessoas que desmaiam ou se sentem mal: deitá-las com o tronco mais baixo, elevando-se as pernas.

Figura 29: Ilustração das estratégias de auxílio ao retorno venoso, com o funcionamento das valvas associado à bomba muscular esquelética. 1 - as valvas venosas estão relaxadas; 2 – ao contrair os músculos da perna, eles pressionam a veia, fechando a valva distal e abrindo a proximal; 3 – ao relaxar os músculos da perna, a valva próxima se fecha, impedindo o refluxo.



Fonte: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-humana-2011-g367/material-de-clase/bloque-tematico-1.-fisiologia-del-aparato/tema-8.-circulacion-venosa-y-linfatica/tema-8.-circulacion-venosa-y-linfatica>

O fluxo sanguíneo vai depender da força que o coração consegue dar ao sangue a cada ejeção e das condições que o sangue tem para fluir de uma região para outra. Aspectos tecnicamente denominados de débito cardíaco e resistência periférica.

O débito cardíaco é a medida de quanto sangue é ejetado por minuto pelo coração. O termo “débito” vem da ideia de que foi retirado, subtraído do volume ventricular. Para esse cálculo, são utilizadas medidas que são fáceis de identificar. A quantidade de sangue que está dentro do ventrículo esquerdo antes da ejeção (no momento 3 do ciclo), denominada de volume diastólico final (VDF), e a quantidade de sangue que fica dentro do ventrículo após sua contração, o volume sistólico final (VSF). Subtraindo o VSF do VDF, temos o que foi ejetado, também chamado de volume sistólico (VS). Cada vez que o coração se contrai, gera VS (cerca de 70 ml). A frequência cardíaca (FC) é medida de quantas vezes o coração se contrai em um minuto (BPM – batimentos por minuto), o que ocorre cerca de 80 vezes, quando a pessoa está em repouso. Então, o débito cardíaco é a $FC \times VS$, que em repouso é cerca de 5 litros e meio de sangue! Ou seja, por minuto, passa mais de 5 litros de sangue no coração, toda a quantidade de sangue de um adulto.

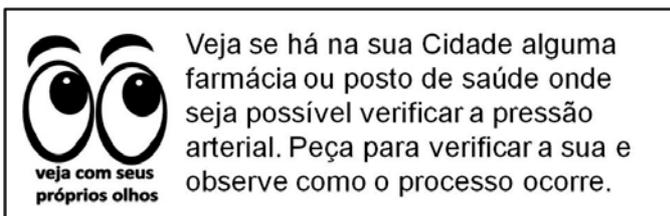
A FC é controlada por vários mecanismos. O principal é a ritmicidade do miocárdio (abordada no próximo capítulo) que “automaticamente” faz ele se contrair 80 vezes por minuto. Mas o sistema nervoso e os hormônios agem sobre as células do miocárdio, acelerando (taquicardia) ou reduzindo esse ritmo (bradicardia).

O débito cardíaco dá ideia do funcionamento do coração. No exercício, a FC aumenta para atender às demandas das células, o que resulta no aumento do débito. Existe uma Lei fisiológica (a Lei de Frank-Starling) cujo enunciado diz que quanto mais sangue chega ao coração, mais sangue é ejetado. Consequentemente maior VS. Isso porque o peso do sangue no ventrículo esquerdo faz as paredes musculares se esticarem. O estiramento favorece a contra-

ção, aumentando sua força, garantindo maior volume ejetado.

A força do ventrículo esquerdo precisa ser suficiente para deslocar o volume de sangue em seu interior e também a massa de sangue que estiver dentro da aorta. Essa massa precisa “empurrar” os demais conteúdos adiante. Contudo, cada ramificação arterial significa redução de espessura (sai do mais grosso para o mais fino), o que cria alguma “resistência” ao fluxo. A essa resistência natural, soma-se à capacidade das arteríolas de se contrair, reduzindo sua espessura. A contração arteriolar é um dos aspectos importantes para o fluxo sanguíneo. Somados todos os pontos ao longo do corpo, temos a resistência periférica total (RPT).

Quanto maior a RPT, mais força terá que fazer o ventrículo esquerdo e com mais força o sangue será ejetado. A medida indireta da pressão arterial serve para indicar o funcionamento da circulação, através da estimativa da força de contração de ejeção e da RPT. Comumente, as pessoas até sabem que a “pressão normal” é 12/8. Mas o que isso significa? Na verdade, 120 mmHg / 80 mmHg é uma medida obtida por um equipamento (o esfigmomanômetro). Em síntese, um bracelete inflado bloqueia o fluxo sanguíneo para o braço. Lentamente, ao ser desinflado, com o uso de um aparelho para ouvir os sons produzidos na artéria braquial (estetoscópio), se observa que em torno da marca de 120 no manômetro, surge um som – como a batida do coração. Na verdade é a força que o sangue fez para passar na artéria “espremida” pelo bracelete (a medida de pressão alta). O pulso de som persistirá até virar um ruído baixo. A pressão nesse momento será de 80 mmHg (a medida de pressão baixa). A medida baixa reflete a resistência que o sangue está enfrentando para fluir.



Fonte: da autora

Quando a medida alta está abaixo de 120, é dito que a pessoa está com hipoten-

são (queda da pressão arterial). Isso é arriscado porque força de ejeção é a principal energia para o sangue fluir. Se ela está baixa, é preciso aumentá-la. Para isto, pode-se aumentar o débito cardíaco acelerando o coração com fármacos.

Quando a medida alta está acima de 120, é dito que a pessoa está com hipertensão (aumento da pressão arterial). Também perigoso, porque significa que o coração está fazendo muita força para o fluxo seguir. Essa força poderá danificar algum vaso, gerando hemorragias ou deslocando placas que entopem o fluxo – no cérebro, os chamados AVCs (acidente vascular cerebral); no músculo cardíaco, os enfartos são bloqueios da passagem do sangue pelos vasos que irrigam o coração (por fora), levando os nutrientes para o músculo. Os vasos que distribuem os nutrientes para o coração são chamados de vasos coronarianos.

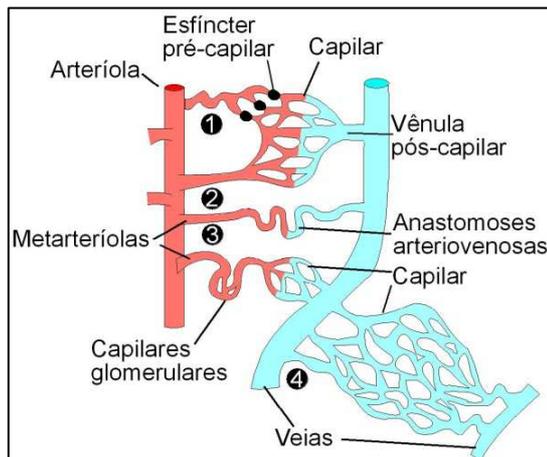
Controle da Microcirculação

Todos os aspectos descritos até então visam fazer o sangue fluir ao longo do circuito para levar até as células os nutrientes e recolher delas os resíduos. Mas essas trocas, conforme vimos em relação aos gases, acontecem na rede de capilares. O controle da passagem do sangue para dentro dos capilares é feito pelas arteríolas e metarteríolas. As metarteríolas são mais finas e possuem ape-

nas alguns anéis musculares localizados na passagem do sangue para dentro da rede capilar (figura 30).

A contração dos anéis das metarteríolas permite o rápido re-direcionamento do fluxo, p.ex., para anastomoses arteriovenosas. Isso é importante, porque o sangue é o mesmo, ele não sai de dentro dos vasos e mantém praticamente o mesmo volume (exceto em patologias). Assim, se é preciso mais sangue em alguma parte do corpo do que em outra, o aumento do fluxo do sangue na primeira região se dará à custa da redução do fluxo em outra. O caso clássico da hora do almoço é um bom exemplo. Após a refeição, o fluxo no intestino está totalmente liberado, mas para isto foi reduzido o fluxo cerebral, o que gera sonolência.

Figura 30: Ilustração da organização da microcirculação. 1 – metarteríola com esfíncter pré-capilar (pode se contrair) bloqueia fluxo para rede, mas o sangue chega à rede através de outra metarteríola; 2 – a metarteríola se liga diretamente à vênula (anastomose), sem rede capilar; 3 – rede de capilares glomerulares dos rins; 4 – rede de capilares formando sistema porta, ligando duas veias.



Fonte: http://dex-enhando.blogspot.com.br/2012_01_01_archive.html

O músculo das arteríolas e das metarteríolas reagem a vários estímulos. O primeiro e mais básico é a autoregulação miogênica.

ca. Significa que, ao ser estirado com a entrada do pulso de sangue, os sensores da parede desses vasos reagem estimulando a contração deles (Lembra-se da peristalse do sistema digestório?). O aumento do CO_2 ou do H^+ no LEC-i induz a vasodilatação. Isso significa que haverá liberação para dentro dos capilares, aumentando o fluxo. O que é compreensível, visto que significa que as células precisam trocar essas substâncias pelo O_2 e nutrientes do sangue.

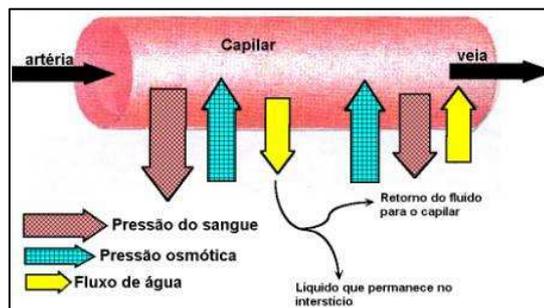
O sistema nervoso desenvolve um controle tônico sobre os vasos, ou seja, ativa uma contração constante do músculo (tônus vascular). Isso significa que as arteríolas e suas ramificações são mantidas num diâmetro mais estreito e que elas podem, se a estimulação diminuir, aumentar esse diâmetro e com isso o fluxo. Exemplo disso é a reação ao exercício. O tónus das arteríolas do músculo esquelético é modificado pela presença do hormônio adrenalina, fazendo aumentar o fluxo e as trocas nessa região que está consumindo muito. Simultaneamente, o sistema nervoso libera um neurotransmissor (noradrenalina) que fará as arteríolas da superfície do corpo se contraírem mais ainda. Ou seja, o sangue sai da superfície e vai para os músculos.

Com a chegada do fluxo na rede de capilar tem início as trocas. Substâncias que podem se difundir livremente (como os gases) seguem seu gradiente. Outras substâncias precisam ser “jogadas” para fora do capilar, diluídas em água no processo denominado de filtração (figura 31). A pressão com que o sangue é jogado contra a parede do capilar impulsiona a saída de algum líquido do plasma para o interstício. Contra a pressão sanguínea, existe a pressão osmótica, que significa a “força” que as substâncias que estão dentro do capilar têm para atrair a água no processo de osmose. No início

da rede, do lado arterial, a pressão sanguínea “vence” e por isso surge a filtração.

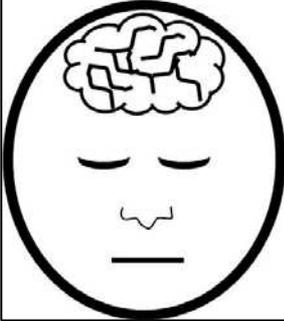
Ao vazar líquido do plasma, o sangue capilar fica mais concentrado, aumentando a pressão osmótica. Por outro lado, o líquido que saiu e ficou no interstício é atraído para dentro do capilar justo por essa força. Ao retornar ao capilar, o líquido leva junto resíduos que estão diluídos, processo denominado de absorção (figura 31). Se muito líquido vazar para o interstício, o sistema linfático pode auxiliar o sanguíneo, recolhendo um pouco desse líquido. Contudo, em algumas situações, a quantidade de líquido extravasado excede a capacidade de absorção de ambos os sistemas. Nesses casos, surge o edema – acúmulo de líquido no espaço intersticial, muito comum quando as pessoas passam muito tempo sentadas ou estão com sobrepeso.

Figura 31: Ilustração descrevendo os processos na microcirculação. A filtração é representada do lado esquerdo (observe a seta amarela) e a absorção, do lado direito.



Fonte: <http://biologiamais.com.br/dicas-vestibulares/o-que-e-edema-39.html>

**exercite
sua mente**



Qual a estratégia dos animais para distribuir os nutrientes no corpo?

Nos animais pulmonados, como é o circuito do sangue?

O que é o ciclo cardíaco?

Qual a importância da pressão arterial?

Retorno venoso, débito cardíaco, resistência periférica total, o que tudo isso tem a ver com fluxo sanguíneo?

4. MANUTENÇÃO DA HOMEOSTASE

Uma vez que compreendemos as estratégias de obtenção de alimento e os mecanismos de transporte das substâncias no corpo, vamos abordar os sistemas que agem para manter os nutrientes e os resíduos dentro de sua faixa homeostática. O sistema nervoso pode fiscalizar as variáveis fisiológicas do meio interno e avaliar se há necessidade de algum ajuste e então, acionar os efetores. Entre os efetores, está o sistema endócrino suas glândulas endócrinas que produzem hormônios.

A produção e a liberação dos hormônios são respostas dadas pelas glândulas endócrinas na sua condição de efetores. Contudo, os hormônios, assim como os nervos do sistema nervoso, também podem acionar respostas nos vários efetores. A resposta das glândulas exócrinas é produzir e liberar secreções (p. ex, as glândulas salivares). Os músculos esqueléticos respondem com contração, na execução dos comportamentos. Nos músculos em que ocorre ritmicidade, o liso e o cardíaco, a resposta desses efetores é aumentar ou diminuir a frequência de suas contrações. Em todos os vertebrados encontramos esses efetores.

Estrutura de Uma Resposta Reflexa

As respostas providenciadas pelos efetores são bastante automatizadas (exceto os movimentos voluntários, assunto do próximo capítulo) e compõe as chamadas respostas reflexas. Reflexo é um termo muito utilizado na linguagem coloquial. Geralmente, se diz: “eu respondi no reflexo!” Muito comum também na linguagem do espor-

te: “o goleiro defendeu no reflexo!”. A unidade entre esses exemplos é a rapidez da resposta, somada ao caráter involuntário, ou seja, algo que não se pensou (ou “quis”) fazer.

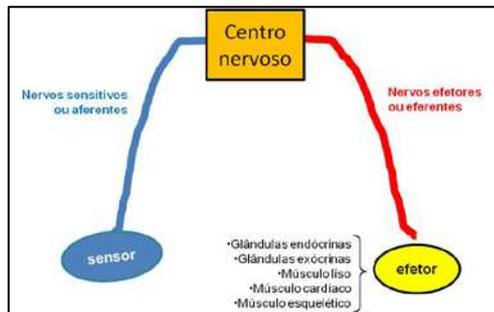
Na descrição da peristalse do sistema digestório, no capítulo 2, foi visto que quando o bolo alimentar estica a parede do tubo, os sensores ali presentes enviam essa informação para os gânglios do sistema nervoso entérico (SNE) que, imediatamente, através de seus nervos, ativa a contração das camadas musculares dessa parede. A resposta foi imediata e involuntária. Mas, observe que “involuntária” não significa que não houve avaliação. A contração só ocorreu porque o SNE, através de seus gânglios, “autorizou” a contração do músculo. Por sua vez, essa autorização decorreu da informação do sensor. Esse reflexo nervoso usa um circuito básico. Atenção: observe que o termo circuito já foi utilizado para o sistema cardiovascular e veja as semelhanças e diferenças da aplicação do termo.

O circuito reflexo é muitas vezes denominado de arco-reflexo porque, em muitos casos, a distribuição dos elementos do circuito forma um arco. Ele começa no sensor que é parte dos nervos sensoriais ou aferentes ou está ligado. As informações captadas pelo sensor são levadas a um centro nervoso, que irá avaliar (comparar as medidas com a faixa homeostática) e poderá acionar uma resposta através dos nervos eferentes ou eferentes. Até aqui, todos esses componentes são pertencentes ao sistema nervoso. Os nervos eferentes estão justamente relacionados às estruturas eferentes que relacionamos anteriormente.

O sistema endócrino também tem um mecanismo próprio de fiscalização e controle de algumas variáveis e de seus hormônios,

correspondendo a alças de respostas por *feedback* negativo. Cada célula endócrina pode funcionar como um sensor e, a partir do estímulo captado (que permite uma “avaliação” por parte da célula), gerar uma resposta imediata. Nesse caso, produzir, liberar ou interromper a liberação de hormônios. Abordaremos esse tópico no final do capítulo.

Figura 32: Esquema dos componentes do circuito de uma resposta reflexa. Observe que a imagem sugere um “arco”, o que favoreceu ao uso do termo arco-reflexo.



Fonte: da autora

O circuito reflexo básico é a unidade funcional do sistema nervoso (SN). A ênfase é sobre o termo “funcional”. Ou seja, com esses componentes (essa unidade), o SN pode acionar uma resposta (fazer uma função). Os elementos isolados não realizam funções – o sensor pode monitorar uma variável, mas não pode acionar um efetor; os nervos eferentes podem estar ligados a um músculo, mas eles precisam ser ativados para fazer o músculo se contrair. Sensor, centro e nervos atuam juntos, formam uma unidade.

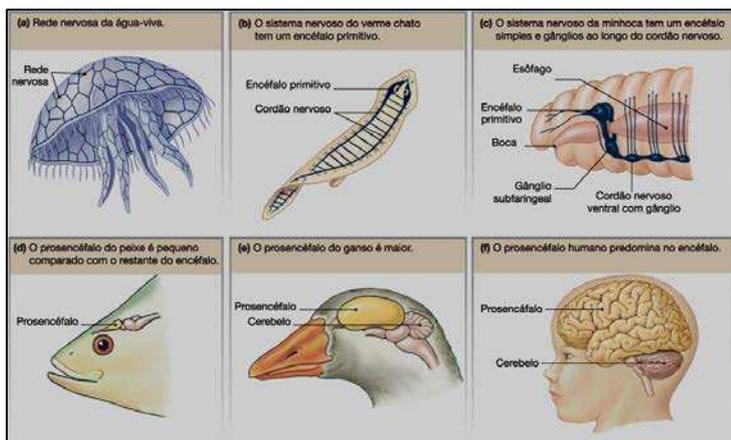
É fácil compreender o que significa medir uma variável, avaliar se ela está dentro da faixa homeostática e acionar uma resposta, as ações do sistema nervoso. Do ponto de vista humano, medir é usar algum instrumento (régua, balança, termômetro, etc.) e avaliar é

ler o resultado da medida, pensar e comparar com a medida esperada. Mas, o sistema nervoso é formado por células, unidades que não falam e nem pensam! Então como isso é possível? Para tanto, vamos desvendar a estrutura e a organização do sistema nervoso, tomando como base os vertebrados.

Organização do Sistema Nervoso de Vertebrados

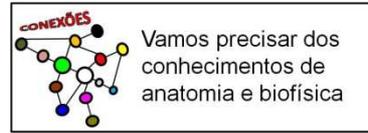
A célula nervosa, o neurônio, surgiu em animais muito simples, os celenterados. Diferente da maioria das células, os neurônios podem gerar e conduzir um sinal através de sua membrana e isto foi “explorado” pela evolução para a comunicação dentro do animal. Nos celenterados, os neurônios se organizaram em forma de rede (figura 33). A medida que os animais foram se tornando mais complexos, os neurônios se organizaram: uns se agruparam formando núcleos (gânglios ou centros), enquanto outros formaram pontes de contato do centro com a periferia do corpo dos animais (figura 33).

Figura 33: Ilustração da organização do sistema nervoso em vários animais, indicando a evolução da organização desse sistema.



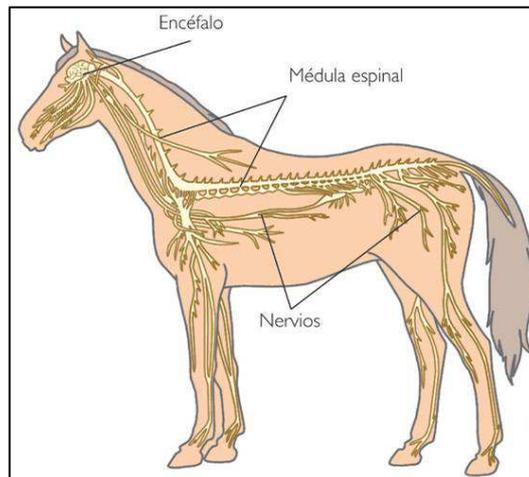
Fonte: Silverthorn, 2010

O nível de organização mais simples é encontrado nos vermes e nos anelídeos. Agrupamentos de neurônios formam gânglios que estão ligados aos cordões nervosos de cada segmento e também a um gânglio maior localizado na cabeça do animal – o encéfalo primitivo. Esse início evolutivo culminará nos vertebrados com a clássica divisão: sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP) (figura 34).



Fonte: da autora

Figura 34: Ilustração indicando as divisões do sistema nervoso em um cavalo. As palavras estão grafadas na língua espanhola: sistema nervoso central (encéfalo e médula espinal) e sistema nervoso periférico (nervios). Observar que os nervos (nervios) ilustrados não apresentam todas as ramificações possíveis, para melhorar a compreensão da imagem.



Fonte: http://maestroscaquercus.blogspot.com.br/2014_01_01_archive.html

O SNC está contido na coluna vertebral ou “espinha”, dentro do canal vertebral, região denominada de medula espinal ou simplesmente medula, e dentro da caixa óssea craniana, o encéfalo. Popularmente, as pessoas sabem que dentro da cabeça ou do crânio está o cérebro (totalmente verdade), mas também há outras estruturas que no conjunto são denominadas de encéfalo. Fora dessas

duas regiões (crânio e espinha) está o SNP que é formado pelos nervos e gânglios. Os gânglios também são agrupamentos de neurônios, mas que estão fora do crânio e da espinha – na parede do tubo digestório existem gânglios que fazem parte do SNE. Atenção: observe as siglas e verifique que SNE é diferente de SNC. Conforme a clássica divisão, os constituintes do SNE (nervos e gânglios) são SNP, ou seja, estão todos na periferia. Funcionalmente, os gânglios do SNE atuam como muitos setores de SNC.

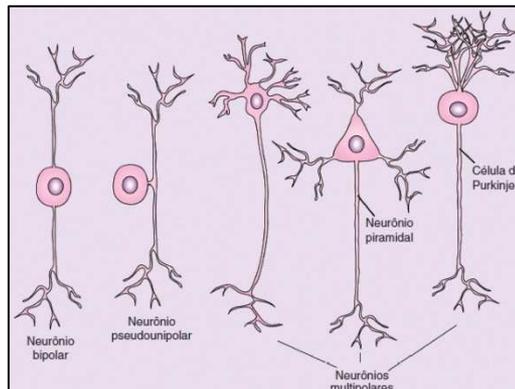
Vale a pena recordar brevemente que o encéfalo é subdividido em regiões com funções diferentes. O tronco encefálico é a primeira porção. Ele está conectado a medula e forma a haste de sustentação dos hemisférios cerebrais. É formado pelo bulbo, ponte e mesencéfalo. Nessa região estão os centros de controle homeostáticos mais importantes do corpo, o cardiovascular e o respiratório. Acima do tronco está cérebro, cuja primeira porção é diencefalo, formado pelo hipotálamo, tálamo e epitélamo, sendo o hipotálamo o centro de controle neuroendócrino e a interface (uma conexão) entre o sistema visceral e o comportamental. Os dois hemisférios que encobrem o diencefalo e parte do tronco formam o telencefalo, a segunda região do cérebro. O telencefalo é formado pelos hemisférios propriamente ditos e pelos núcleos profundos. A parte mais externa do cérebro é o córtex, um conjunto de neurônios fundamentais para as funções ditas superiores, p.ex., atenção e memória.

O encéfalo, a medula e os gânglios são formados por agrupamentos de neurônios. Mas o que são os nervos? Este é um importante desafio para a compreensão do funcionamento do SN e o segredo está no neurônio. Ele é uma célula como todas as outras: microscópica, possui núcleo, organelas e membrana (figura 35). A pri-

meira diferença é a possibilidade de gerar um sinal, conforme descrito acima. Mas também há uma diferença morfológica. A membrana do neurônio pode formar prolongamentos, alguns podem se esticar por até um metro! Atenção: o prolongamento pode se alongar por metro, mas não é visível a olho nu, continua sendo microscópico. Outros prolongamentos são microscopicamente curtos (medidos em nanômetros – corresponde a um milionésimo de milímetro).

A quantidade de prolongamentos é uma característica que permite classificar os neurônios em diferentes tipos: unipolar, quando há somente um prolongamento; bipolar, quando há dois prolongamentos partindo do corpo; pseudounipolar, quando há dois prolongamentos, mas estão ligados ao corpo em um mesmo ponto; e multipolar, quando há muitos prolongamentos (figura 35).

Figura 35: Ilustração dos tipos de neurônios conforme a quantidade e forma de seus prolongamentos.



Fonte: <http://blogelseviersaude.elsevier.com.br/odontologia/tecido-nervoso/>

Num típico neurônio multipolar, é possível reconhecer “partes” diferentes ou regiões: prolongamentos apicais ligados ao corpo, os dendritos ou terminal de recepção; o corpo, que contém o núcleo e a maioria das organelas; o maior prolongamento ligado ao corpo, o

axônio; e o final do axônio, o terminal sináptico ou telodendro ou terminal de transmissão, que possui estruturas para a comunicação com outro neurônio ou com os efetores. Todos os prolongamentos são formados pela membrana e citoplasma e, no axônio, também há microtúbulos (figura 36).

Alguns axônios possuem a bainha de mielina. Trata-se de uma “cobertura” de partes do axônio realizada por outras células que compõem o tecido nervoso, as células da glia. As células de Schwann, no SNP, e os oligodendrócitos, no SNC, se enrolam ao axônio e tornam esse local isolado do LEC-i. Entre uma célula da glia e outra, o axônio pode entrar em contato com o LEC-i, regiões denominadas de nodos de Ranvier (nome do descobridor) (figura 36). A bainha de mielina está relacionada à velocidade de transmissão da informação no SN e à algumas doenças, p.ex., a esclerose múltipla.

Figura 36: Ilustração de um neurônio multipolar com suas diferentes regiões. Observe que no axônio há a bainha de mielina e os nodos de Ranvier.

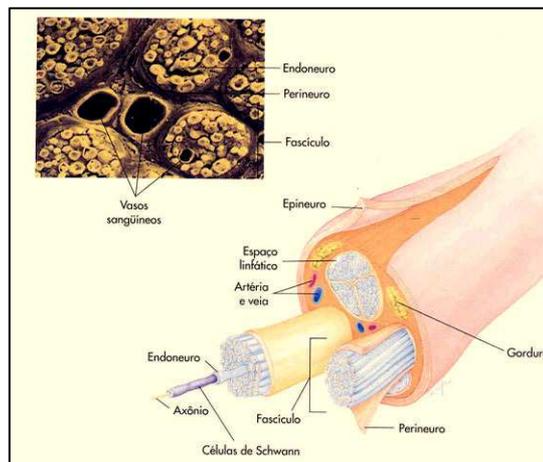


Fonte: <http://www.infoescola.com/biologia/tecido-nervoso/>

Agora podemos voltar à questão inicial. Um nervo é uma estrutura que contém os axônios de neurônios que se comunicam com a periferia do corpo. Os nervos aferentes contêm apenas axônios

que saem da periferia em direção ao centro, enquanto os eferentes contêm axônios que saem do centro em direção à periferia. Os nervos espinhais e alguns cranianos são mistos, ou seja, contêm os dois tipos de axônios. Um conjunto de axônios forma um fascículo que vai ser envolto por uma membrana, a perineuro. Vários fascículos são reunidos a vasos sanguíneos e outras estruturas de tecido conjuntivo através de uma grossa membrana, a epineuro. O nervo é a estrutura que conduz os axônios de ou para a periferia – todas as células do corpo. Lembra-se da analogia dos capilares com ruas e bairros do primeiro capítulo? Para atender a cada “casa” (as células), o nervo se ramifica várias vezes, reduzindo sua espessura até que, próximo à região de sua atuação, já não haverá mais perineuro, estando apenas os axônios (figura 37).

Figura 37: Ilustração (colorida abaixo) e fotomicrografia (acima) da estrutura de um nervo. Observe a correspondência dos nomes nas duas figuras.

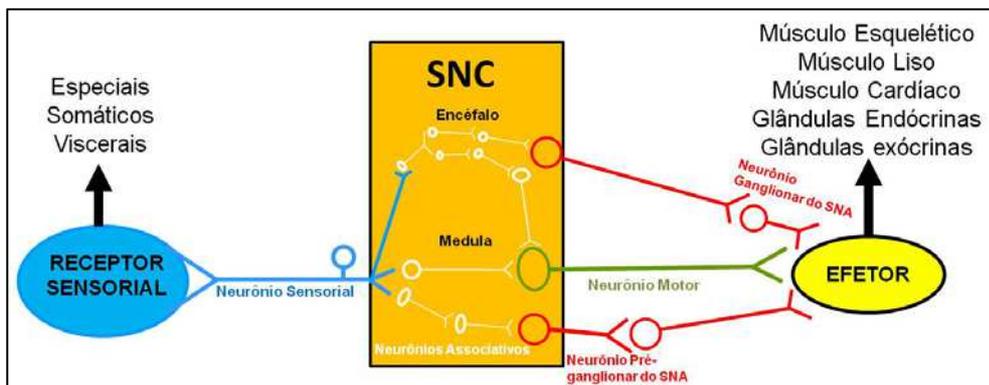


Fonte: <http://www.auladeanatomia.com/neurologia/neuro.htm>

Esclarecida a questão do nervo, podemos olhar um esquema que resume as muitas funções do SN e também permite entender melhor os significados de SNC e SNP (figura 38). Observando o

esquema, é possível identificar que fazem parte do SNC: os grupos de neurônios associativos, da medula e do encéfalo; parte do axônio dos neurônios sensitivos e seus terminais sinápticos; os corpos e a parte inicial dos axônios dos neurônios efetores (motores e do SNA, descritos adiante). Por outro lado, fazem parte do SNP os axônios dos neurônios sensoriais e efetores (que formam os nervos). Os gânglios são formados pelos corpos dos neurônios que estão fora do SNC, ou seja, os corpos dos neurônios sensitivos (formam o gânglio sensitivo ou gânglio da raiz dorsal da medula) e os corpos de neurônios do SNA (formam os gânglios autonômicos) (figura 38).

Figura 38: Esquema simplificado representando a organização e interação entre as estruturas do sistema nervoso até a conexão com os efetores. Os pequenos círculos representam o corpo dos neurônios; as linhas, o axônio; “<” representa o terminal sináptico; SNC – sistema nervoso central (tudo que estiver dentro do retângulo de cor laranja); SNA – sistema nervoso autônomo (os neurônios na cor vermelha). Observe que todas as estruturas que estão fora do retângulo de cor laranja, excetuando os efetores, fazem parte do sistema nervoso periférico ou SNP. E também que entre um “neurônio” e outro não há contato, o que representa a sinapse. Não há relação proporcional de tamanho entre as estruturas.



Fonte: da autora

SNA é a sigla para sistema nervoso autônomo que é considerada uma divisão do sistema nervoso. Mas, assim como o SNE, essa é uma denominação que não se relaciona com a divisão geral de SNC e SNP. O SNA é considerado o sistema visceral, porque

atua nos órgãos que promovem respostas automáticas de manutenção da vida (ou seja, a homeostase). Também denominado de sistema vegetativo, em relação ao “estado vegetativo”, que é aquele em que a pessoa perde a capacidade de interagir com o ambiente, mas continua viva, porque sua circulação, digestão, entre outros, continua funcionando.

O SNA atua sobre o músculo liso dos órgãos, as glândulas exócrinas e endócrinas e o músculo cardíaco. Para isso, faz uso de dois neurônios que são denominados em relação ao gânglio autonômico: pré-ganglionares, cujo corpo está no SNC; e os ganglionares, cujo corpo está no gânglio (também denominados de pós-ganglionares). Conforme a localização de seus neurônios e a função desempenhada, o SNA é subdividido em simpático e parassimpático. O simpático é um sistema de alerta ou alarme e prepara o corpo para reagir às situações, p.ex., lutar ou fugir. Enquanto o parassimpático é um sistema que atua no descanso e na digestão. Pode-se concluir que os efeitos dos dois sistemas são antagônicos ou opostos, o que é verdade para a maioria dos casos. Contudo, há estruturas que são inervadas apenas por um dos sistemas, como é o caso do músculo liso do vaso sanguíneo (figura 39).

Na divisão simpática do SNA, os neurônios pré-ganglionares estão na região torocolombar da medula espinhal, da vértebra T1 a L2. Os gânglios simpáticos estão próximos da medula, de tal forma que os axônios pré-ganglionares são pequenos. Contudo, cada axônio se ramifica muitas vezes e pode fazer contato com neurônios de gânglios acima ou abaixo da origem de sua origem. Isto garante a ativação de diferentes estruturas simultaneamente, típica de uma situação de alerta. Por sua vez, os axônios ganglionares são longos

e fazem parte dos fascículos dos nervos espinhais. Um dos efeitos muito conhecidos da ativação do simpático é a liberação do hormônio adrenalina a partir da glândula adrenal, que só recebe nervos simpáticos, tal qual o músculo dos vasos sanguíneos.

Figura 39: Quadro comparativo entre as respostas produzidas pela ação da divisão simpática e da parassimpática nos diferentes órgãos.

Órgão	Resposta Parassimpática	Resposta Simpática
Pupila do olho	Contrição	Dilatação
Glândulas salivares	Secreção aquosa	Secreção rica em muco e enzimas
Coração	Diminuição da frequência	Aumento da frequência
Pulmões	Constrição dos bronquíolos	Dilatação dos bronquíolos
Tubo Digestório	Aumento da motilidade e da secreção	Diminuição da motilidade e da secreção
Pâncreas exócrino	Aumento da secreção enzimática	Diminuição da secreção enzimática
Pâncreas endócrino	Aumento da secreção de insulina	Diminuição da secreção de insulina
Bexiga urinária	Liberação de urina	Retenção de urina

Fonte: da autora

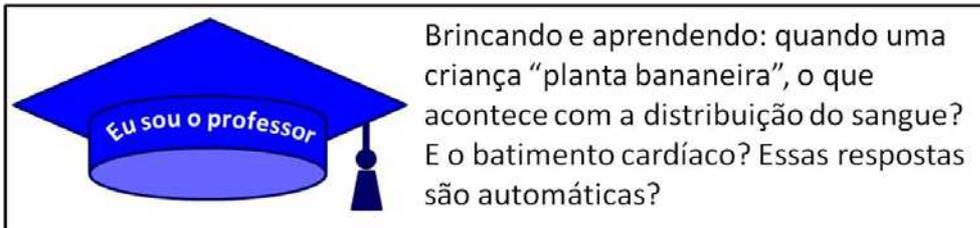
Os neurônios pré-ganglionares da divisão parassimpática do SNA estão localizados no encéfalo e na medula sacral, o que confere o termo crânio-sacral (reveja a figura 38). Eles emitem longos axônios que participam dos nervos cranianos, sendo o principal deles o nervo vago. Os gânglios parassimpáticos estão nas proximidades ou nas paredes das vísceras, fazendo com que os axônios dos neurônios ganglionares sejam muito pequenos. Os gânglios do SNE que estão na parede do tubo digestório são gânglios parassimpáticos.

Impulso Nervoso

A organização do SN descrita acima nos permite imaginar o “caminho” utilizado para se obter uma resposta reflexa. Vamos ilus-

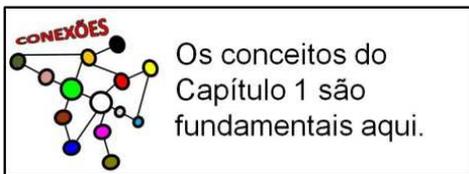
trar isso com o exemplo do reflexo ortostático, que ocorre em todos nós todos os dias pela manhã em pouquíssimos segundos. Quando estamos dormindo, o sangue se distribui de modo mais ou menos igual entre todo o circuito. No momento em que acordamos e ficamos de pé, a força da gravidade empurra o sangue imediatamente para as partes inferiores do corpo. O sangue é um só, então se ele se acumula nas pernas, vai faltar para a cabeça (por isso algumas pessoas podem sentir-se tontas ao levantar-se). A redução do fluxo para a cabeça é identificada por receptores sensoriais específicos localizados na parede da aorta, os baroreceptores, que enviam essa informação, através dos neurônios sensoriais, ao centro de controle cardiovascular localizado no bulbo. Os neurônios associativos desse centro se comunicam com neurônios pré-ganglionares simpáticos na medula e estes, com os ganglionares que vão atuar sobre o miocárdio e sobre os vasos.

No miocárdio, a resposta será de aumento da força e da frequência cardíaca e no vaso, aumento da constrição (redução da luz do vaso). A vasoconstrição aumenta o retorno venoso, permitindo o aumento do débito cardíaco, pela Lei de Frank-Starling. O aumento do débito eleva a pressão, favorecendo o fluxo do sangue para a cabeça, contra a força da gravidade. Tudo isso ocorre entre dois batimentos cardíacos, ou seja, no terceiro batimento, quando o sangue passar pelo baroreceptor, o fluxo já estará normalizado – lembrando *feedback* negativo, o sinal inicial era de redução de fluxo, a resposta final gera o aumento do fluxo. Contudo, de que modo os baroreceptores medem o fluxo?



Fonte: da autora

O baroreceptor é um neurônio pseudounipolar e, como tal, apresenta dois prolongamentos: um que se conecta com a periferia e outro que está ligado ao centro nervoso (veja as figuras 35 e 38). As ramificações da ponta ou terminações do prolongamento periférico funcionam como receptor sensorial e estão inseridas na parede



Fonte: da autora

do vaso sanguíneo (aorta ou carótida). Quando o sangue é ejetado para dentro desses vasos, a pressão de ejeção faz a parede se esticar. Esse estiramento é

uma força mecânica que deforma as terminações nervosas, o que promove uma alteração na membrana celular dessa região.

Aqui é necessário recordar que a membrana celular é semipermeável – algumas coisas passam e outras não. Alguns íons têm proteínas canais de passagem, mas estes estão fechados (com portas). Se a porta abrir, eles entram. Uma forma de abrir portas na membrana é deformando ela mecanicamente. Os íons que normalmente ficam fora do LIC porque a membrana é impermeável a eles, entram momentaneamente pelo ponto onde a membrana foi deformada e abriu suas portas. Assim que a deformação passa, as portas se fecham e esses íons são colocados para fora, de volta ao LIC-i. Essa onda ou pulso ou corrente alternada de entrada e saída de íons na membrana é o impulso nervoso, também denominado de

sinal neural ou potencial de ação. Na linguagem fisiológica, a “transformação” do estiramento em uma corrente de íons é denominada de transdução, ou seja, a conversão de uma energia qualquer para impulso nervoso.

O impulso nervoso é a informação que precisa ser enviada para o centro nervoso, por isso é preciso que ocorra a condução do impulso nervoso até o terminal sináptico. Tecnicamente, a abertura dos canais com a entrada de íons é denominada de despolarização da membrana; enquanto a retirada dos íons de dentro do LIC é a repolarização. A corrente alternada é despolarização-repolarização. A condução do impulso é possível porque o efeito de abrir portas é “contaminante” e se espalha do ponto em que os íons entraram para toda a membrana. Os íons que entram na despolarização se “encarregam” de abrir as portas da membrana imediatamente adjacente (ao lado), causando a despolarização ali, e assim por diante, até o terminal sináptico. Em axônios mielinizados, a despolarização só irá ocorrer nos nodos de Ranvier. O efeito contaminante será repassado o próximo nodo, pois os íons se deslocam pelo citoplasma do axônio isolado até chegar ao nodo de Ranvier, onde abrem as portas da membrana e causam a despolarização. Deste modo, “pulam” toda a região isolada pela mielina, daí o termo condução saltatória.

Quando o fluxo sanguíneo está adequado, os pulsos de sangue sobre o baroreceptor gera uma quantidade de impulsos por unidade de tempo (uma taxa). Hipoteticamente, 50 impulsos por segundo. Isso significa que o receptor sensorial SEMPRE está enviando alguma informação para o centro nervoso. Uma vez que a variável mude, a informação também muda. No nosso exemplo, a redução do fluxo fez reduzir a pressão, ou seja, o pulso sobre a aorta,

reduzindo a taxa para 30. Reflita: se a pressão aumentasse, como seria a sinalização do baroreceptor?

A transdução do impulso nervoso no baroreceptor foi provocada mecanicamente, por isso ele é denominado de mecanorreceptor – receptor sensorial do tipo mecânico. Outros receptores são capazes de transduzir informações químicas, p.ex., glicoreceptores “medem” o nível de glicose no sangue; são quimiorreceptores.

Sinapse e Transmissão Sináptica

O axônio sensorial que teve início no baroreceptor chega ao centro nervoso no terminal sináptico. Nesse ponto, o impulso nervoso não pode seguir adiante, pois a membrana acaba. Nesse ponto final há um espaço entre o terminal e o início de outro neurônio, a fenda sináptica. É um espaço minúsculo (cerca de 30 nanômetros), mas não há contato físico entre as membranas de diferentes neurônios. Revendo a figura 36, imagine que uma das ramificações do terminal sináptico de um neurônio – neurônio pré-sináptico – está nas proximidades de uma ramificação de dendrito de outro neurônio – neurônio pós-sináptico, com a fenda entre eles. Esse conjunto de estruturas: neurônios pré, fenda e neurônio pós, é denominado de sinapse. Atenção: sinapse é o termo para o conjunto das estruturas.

A transmissão sináptica é o mecanismo que o neurônio pré usa para comunicar ao neurônio pós suas informações. No terminal sináptico dos neurônios são encontradas substâncias que participam dessa transmissão, os neurotransmissores. Os mais comuns estão armazenados em vesículas sinápticas. A chegada da corrente despolarizante do impulso nervoso ao terminal sináptico “faz” com as vesículas sejam empurradas para a membrana e façam a exocitose

(liberação) dos neurotransmissores na fenda. Esse “fazer” do impulso não é mágica. Na realidade, a corrente despolarizante resulta na abertura de portas específicas para o íon cálcio. A reação desse íon com as vesículas sinápticas é que promove a excitose.

Os neurotransmissores são substâncias químicas e muitos deles são amplamente conhecidos pela divulgação na mídia, outros nem tanto: dopamina, serotonina, glutamato, gaba (ácido aminobutírico), glicina, noradrenalina e acetilcolina. Quando liberados na fenda sináptica, eles alcançam a membrana do neurônio pós-sináptico em regiões específicas denominadas de receptores sinápticos ou pós-sinápticos. Esses receptores nada mais são do que proteínas canais de membrana que possuem portas. O neurotransmissor serve como uma “chave” que abre a porta do canal. Assim ele permite uma pequena entrada de íons que forma o potencial pós-sináptico (PPS).



Há poucas décadas foi descoberto que os gases também servem como neurotransmissores. O mais famoso deles é o óxido nítrico, que pode ser explorado em remédios como o viagra. Use um portal de busca e descubra outros neurotransmissores

Fonte: da autora

O PPS não corresponde ao impulso nervoso. São fenômenos diferentes. Para compreender isto, é preciso ter em mente que um único neurônio poder receber de dezenas a milhares de sinapses. Então, como ele pode “decidir” o que fazer? O arranjo das sinapses no SNC é muito complexo, mas tem como base a possibilidade de “ativar” ou “inibir” linhas de comando. O uso de neurotransmissores é fundamental para isto. Alguns deles funcionam excitando o neurônio pós-sináptico, formando um potencial excitatório pós-

sináptico (PEPS). Isso significa que a corrente de íons segue na direção da despolarização. Outros promovem a inibição, formando potencial inibitório pós-sináptico (PIPS). O neurônio pós-sináptico reúne todos os efeitos recebidos, realizando uma somação. A corrente que for mais forte “ganha”. Se a corrente de PEPS for maior do que a do PIPS, então será iniciado o impulso nervoso.

A sinapse foi uma importante característica para o desenvolvimento da coordenação e controle dos diferentes eventos fisiológicos. O fato de usar neurotransmissores como mensageiros, um intermediário na transmissão da informação, permite desenvolver caminhos que sigam “confirmando” a informação, enquanto outros podem ser utilizados para interromper a transmissão (a inibição). P.ex.: pode ter ocorrido com você ou com alguém próximo a você o fato de não sentir a dor no momento de um ferimento, especificamente durante uma situação de muito estresse (um assalto ou uma briga). Às vezes, quando saímos da situação estressante, a dor vem tão rápido e forte que até desmaiamos. Isso é possível porque o corpo humano possui um sistema que bloqueia a dor nessas condições. São neurônios que fazem sinapses inibitórias com aqueles neurônios sensoriais que captam a dor (veremos no próximo capítulo).

A sinapse também permitiu à tecnologia humana desenvolver remédios que interferem com o funcionamento do sistema nervoso. Analgésicos do tipo opióides atuam inibindo as sinapses da dor. Remédios ansiolíticos atuam em sinapses do encéfalo, reduzindo a atividade geral, por isso induz sono. Além disso, o fato de os neurotransmissores gerarem PPS's que precisam ser somados (e não gerarem a despolarização diretamente) é o “jeito” possível do SN avaliar um dado parâmetro fisiológico.

Potencial Muscular e Ritmicidade Cardíaca

No caminho do reflexo ortostático, a transmissão sináptica entre o neurônio sensorial e o neurônio do centro nervoso é apenas a primeira. Esse neurônio central comunica a informação para outros da região através do mesmo processo de sinapse. Finalmente, neurônios do bulbo enviam axônio na direção da medula (descendentes) realizando sinapse com os neurônios pré-ganglionar simpáticos. Novamente, por sinapse, estes ativam os ganglionares que chegam até o miocárdio.

Para entender a ação dos neurotransmissores do SNA sobre o miocárdio, alguns conceitos são fundamentais. Primeiro, a questão da geração do sinal de membrana. Descrevemos que o neurônio é capaz de gerar uma corrente alternada de íons que se movimentam através de sua membrana – o impulso nervoso. Essa característica é usada pelo SN para comunicação dentro do corpo. Mas, a membrana das células dos músculos (cardíaco, liso e esquelético) também é capaz de conduzir a corrente de íons, obviamente aqui não é denominado de impulso nervoso e sim, potencial muscular. Por isso, os neurônios e as fibras musculares são denominadas de células excitáveis. Observe que “fibra” é um sinônimo para a célula muscular.

É o SN nervoso, através da liberação de neurotransmissores, que promove a ativação ou excitação de uma célula do músculo esquelético e de alguns músculos liso. Isso quer dizer que, a ação do neurotransmissor fazer surgir um potencial ou inicia a despolarização da membrana muscular. Atenção: o neurotransmissor quando atua sobre outro neurônio, gera PPS; no caso desses músculos, o efeito já é direto de despolarização.

O segundo conceito importante é o de ritmicidade. Alguns músculos do tipo liso (como os do tubo digestório) e o miocárdio são capazes de se autoexcitar em intervalos de tempo regular, ou seja, possuem um ritmo de contração. A ação do SN sobre esse músculo é de regulação, acelerando ou retardando seu ritmo. No exemplo do reflexo ortostático, a resposta homeostática necessária é aumentar a frequência cardíaca.

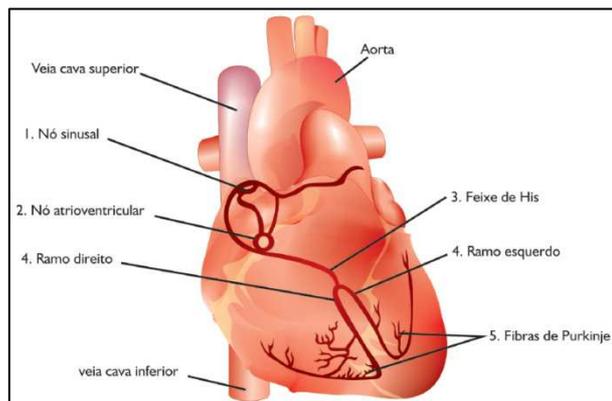
O ritmo de batimento do coração é fornecido por um conjunto de células especializadas que estão inseridas na região superior do átrio direito, o nó sinoatrial (NSA) ou sinusal. A membrana dessas células possui uma característica própria: canais fechados que abrem suas portas após uma repolarização, permitindo uma fraca corrente de íons (tal qual o PEPS) que pouco a pouco se acumula no LIC e termina gerando a despolarização da membrana – esses canais são chamados de “engraçados”.

Uma vez que o NSA despolariza, ele comunica isso para as células musculares que estão conectadas umas as outras por junções comunicantes. Ou seja, não há sinapse. O potencial (a corrente iônica) passa direto de uma célula para outra. Isso garante que grupos de fibras musculares se contraíam em conjunto. Observe que por não haver sinapse, com seus transmissores que podem ser excitatórios ou inibitórios, o único caminho possível na junção comunicante é despolarizar e repassar a corrente, sendo excelentes mecanismos para sincronizar ações. No miocárdio, conforme o ciclo cardíaco, os átrios (direito e esquerdo) precisam realizar a sístole simultaneamente, o mesmo ocorrendo para os ventrículos (direito e esquerdo), sincronização possível pelas junções comunicantes. Contu-

do, átrios e ventrículos precisam alternar suas contrações, providenciada dada pelo sistema de condução elétrica do coração (figura 40).

O NSA se continua com outras células formando as vias internodais que terminam sobre o nó atrioventricular (NAV), situado na região das valvas com essa denominação. No caminho do NSA para o NAV, as células musculares dos átrios vão sendo despolarizadas promovendo a sístole atrial. O NAV repassa a despolarização para outro conjunto de células especializadas, o feixe de His, e seus ramos (esquerdo e direito). Esse feixe está localizado sobre o septo cardíaco, região fibrosa, de tal modo que não há células musculares a serem despolarizadas. O tempo de propagação do potencial muscular nesse feixe garante o enchimento final dos ventrículos. O feixe de His se continua com as fibras de Purkinje e invadem o ápice dos ventrículos, promovendo a despolarização das células dessa região – garantindo a sístole ventricular de baixo para cima (figura 40).

Figura 40: Ilustração do sistema de condução elétrica do miocárdio.



Fonte: <http://www.lifesavers.com.br/r/Nocoes-de-Fisiologia-11.html>

A velocidade com que os canais engraçados do NSA deixam entrar a corrente de íons é o ritmo próprio do coração, 80 BPM. Ca-

so ocorra algum problema nessa estrutura, o NAV e o feixe de His também são capazes de gerar ritmicidade, contudo em frequência mais baixa.

A regulação do SNA sobre o batimento cardíaco envolve a liberação de neurotransmissores por parte das terminações sinápticas de neurônios ganglionares simpáticos e parassimpáticos. Nas situações que exigem o aumento do BPM, como no reflexo ortostático, os terminais simpáticos liberam noradrenalina. Esse neurotransmissor atua sobre a membrana das células do NSA de modo que altera os canais engraçados, ampliando a corrente de entrada de íons. Isso acelera o ponto em que irá ocorrer a despolarização. Consequentemente, aumenta o ritmo ou a frequência cardíaca – taquicardia. Por oposição, os terminais parassimpáticos liberam acetilcolina, cuja ação na membrana resultará no retardo na corrente de entrada de íons, reduzindo a frequência cardíaca - bradicardia.

O miocárdio e os músculos lisos do tubo digestório também são regulados por hormônios. Relembre que a gastrina, um hormônio das glândulas oxínticas do estômago, atua sobre as camadas musculares do próprio estômago aumentando a frequência das ondas peristálticas. No miocárdio, os hormônios vão atuar do mesmo modo que os neurotransmissores, afetando o fluxo dos íons dos canais engraçados. Esses efeitos são somados aos efeitos do SNA, p.ex., a taquicardia simpática produzida pela noradrenalina é ampliada com a presença do hormônio adrenalina, liberado pela glândula adrenal. Vamos compreender mais os hormônios.

Sistema Endócrino

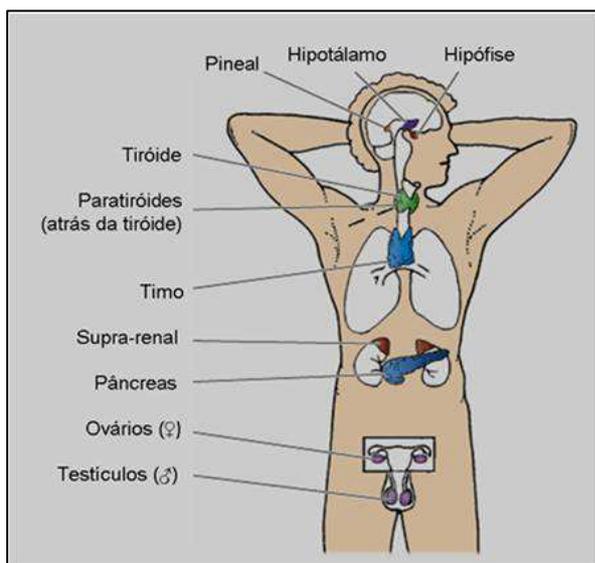
Os hormônios são mensageiros químicos semelhantes aos neurotransmissores. Vão atuar em receptores na célula, desde que a célula possua o receptor específico para cada hormônio. O termo mensageiro sugere que essa substância “carrega” uma mensagem, bem como os neurotransmissores. A organização do sistema nervoso permite enviar uma mensagem para um local específico do corpo com grande precisão. P.ex.: a informação para corrigir a redução do fluxo na aorta (no reflexo ortostático) precisava chegar ao coração. Embora o circuito até lá tenha envolvido vários neurônios, a mensagem seguiu para o órgão específico e não para outros. Mas, algumas mensagens precisam chegar a muitas células simultaneamente e, nesse caso, a comunicação via hormônio é mais eficiente.

Considere a seguinte analogia. Num escritório com 10 funcionários, o chefe resolveu dar aumento apenas para um deles. Então, faz essa comunicação através de uma carta (ou email) direcionada apenas para este “sortudo”. Mas, um bom chefe pode desejar dar aumento a todos os funcionários, então a melhor comunicação é uma carta-circular (ou um email para o grupo) – todos recebem a mesma mensagem. Esse último caso se assemelha ao funcionamento do sistema endócrino.

A capacidade de chegar a vários alvos simultaneamente é possível porque os hormônios são transportados pelo sangue – e chegam até onde ele chegar. Esta e outras características tornam os hormônios excelentes para coordenar funções de longo prazo: o desenvolvimento e o crescimento dos animais, o metabolismo e a reprodução, além das respostas imediatas da homeostase.

Os hormônios são produzidos por glândulas endócrinas, estruturas cujo agrupamento de células se especializou em fabricar os hormônios, o que significa ser capazes de captar as “matérias primas” do sangue e possuir “ferramentas” para juntar esses ingredientes formando o hormônio. As glândulas que abordaremos aqui são: a hipófise (e sua relação com o hipotálamo), a tireoide, as paratireoides e o pâncreas. Além delas, também são glândulas endócrinas: a pineal (que produz a melatonina), a suprarenal (que produz a adrenalina e também o cortisol) e o timo (órgão do sistema imunológico). Algumas células individuais podem produzir hormônios, p.ex., as células G do antro ou as células S do duodeno. Os ovários e os testículos são glândulas endócrinas genericamente denominadas de gônadas. Elas serão abordadas no último capítulo (figura 41).

Figura 41: Ilustração indicando a localização das glândulas endócrinas no corpo. Observar que no corpo ilustrado aparecem as gônadas de mulheres e homens (ovários e testículos), simultaneamente.



Fonte:

http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Gl%C3%A2ndulas+End%C3%B3crinas&lang=3

Muitos hormônios são proteicos ou peptídeos. As células glandulares combinam as proteínas no retículo endoplasmático rugoso e, com a ajuda do complexo de Golgi, empacotam várias unidades em vesículas. No momento “apropriado”, essas vesículas fazem a exocitose do conteúdo. Os hormônios peptídeos se diluem no plasma, pois são hidrofílicos, e então são transportados por todo o corpo. No sangue, esses hormônios tem mais facilidade de sofrer degradação por parte de enzimas presentes no plasma, então ficam ativos por pouco tempo— tecnicamente: possuem meia-vida curta. Sendo hidrofílicos, os peptídeos não podem passar pela membrana (lipídica) e por isso, o efeito desses hormônios ocorre exclusivamente por receptores na membrana da célula.

Os hormônios sexuais, produzidos pelas gônadas, e o cortisol (da suprarenal), são hormônios esteroides, fabricados a partir de combinações com moléculas de colesterol. Uma vez produzidos na célula, não são armazenados e sim liberados diretamente por difusão através da membrana, já que são lipofílicos. Contudo, são hidrofóbicos e isso implica a necessidade de mecanismos de transporte no sangue. As proteínas plasmáticas transportam os esteroides, se associando a eles. Essa associação evita a ação de enzimas, tornando esse hormônio com meia-vida longa. A possibilidade de difusão pela membrana faz com que esses hormônios atuem em receptores dentro do citoplasma e até na membrana do núcleo, mas eles também se ligam aos receptores da membrana celular.

Para agir adequadamente, não é necessária grande quantidade de hormônios. Mas a pequena quantidade é liberada continuamente, em um ritmo próprio de cada hormônio, o que está de acordo com efeitos de longo prazo. Para efeitos imediatos, o nível de

liberação é alterado, aumentando ou reduzindo, como será descrito a partir do controle homeostático do íon cálcio, no qual estão envolvidas as glândulas paratireoide e tireoide.



Você sabia que hormônios esteroides classificados como anabolizantes podem ser usados como drogas? Consulte o site: http://www2.unifesp.br/dpsicobio/cebrid/quest_drogas/esteroides_anabolizantes.htm

Fonte: da autora

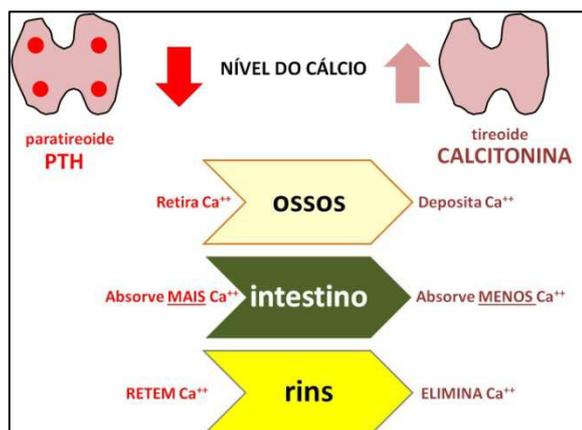
As células dessas glândulas “medem” continuamente o nível de cálcio no sangue. Para uma imagem mental, considere que os íons de cálcio presentes no sangue precisam “dar um oi” para a membrana das células glandulares. Elas estão acostumadas a receber “oi” muitas vezes ao dia. Quando tem pouco cálcio, as células da paratireoide reagem e aumentam a liberação de seu próprio hormônio, o da paratireoide ou PTH. Lembre-se das alças de *feedback* negativo cujo objetivo final é reverter o “sinal” de entrada. Ou seja, o PTH visa aumentar o nível do cálcio no sangue e, com isso, voltar ao “padrão de oi” que as células da paratireoide recebiam.

Então, o PTH segue pela corrente sanguínea e vai atuar nas células de três estruturas: os ossos, o intestino e os rins. Isso significa que nas células dessas estruturas há receptores que “compreendem” a mensagem que o PTH está trazendo, qual seja: “é preciso repor o cálcio no sangue”. As demais células do corpo não possuem receptores para PTH. A lógica é que, os ossos são formados por deposição do cálcio, uma espécie de “armazém”. Na necessidade, o PTH induz a liberação dos íons ali armazenados para o sangue.

Mas, também ativa os enterócitos a absorverem mais cálcio da alimentação e “avisa” para o rim reabsorver o cálcio que iria para urina, evitando sua eliminação, retendo ele no corpo. Essas ações em conjunto aumentam a quantidade do íon no sangue, fechando o *feedback*, conseqüentemente fazendo a paratireoide voltar ao padrão basal de liberação de PTH (figura 42).

A tireoide não “se incomoda” se o nível de cálcio diminuir, mas sim com o oposto. Caso a quantidade de “oi” recebida aumente muito, essa glândula aumenta a liberação do seu hormônio calcitonina. Ele irá atuar nas mesmas estruturas de ação do PTH, porém ao contrário. Vai induzir os ossos a depositar o cálcio, ou seja, retirá-lo do sangue e inseri-lo da matriz óssea. No intestino, a mensagem será de reduzir a absorção, enquanto no rim, excretar esse íon na urina, aumentando sua eliminação (figura 42).

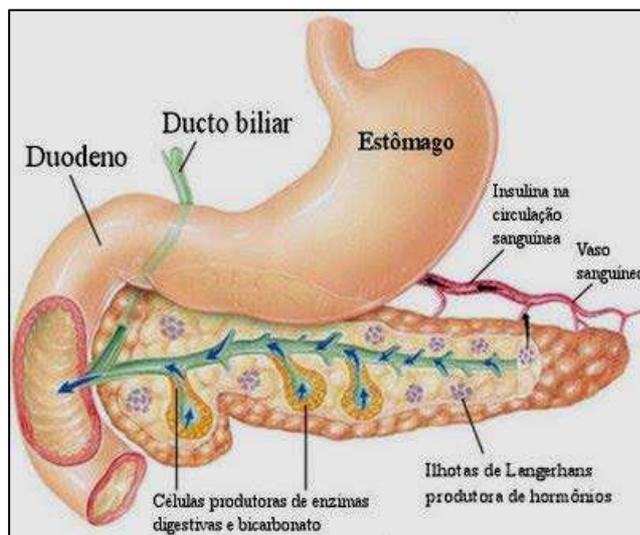
Figura 42: Esquema representando o controle homeostático do nível do cálcio (Ca^{++}), indicando os efeitos do hormônio da paratireoide (PTH), quando o nível está baixo, sobre os ossos, o intestino e os rins; e indicando os efeitos do hormônio calcitonina sobre as mesmas estruturas, quando o nível está alto.



Fonte: da autora

Os hormônios pancreáticos atuam no controle do nível de glicose (glicemia) no sangue de modo semelhante ao PTH e calcitonina. As células do pâncreas monitoram a presença da glicose no sangue e reagem às suas variações. O pâncreas é uma glândula mista, porque produz a secreção pancreática, que é liberada na luz do duodeno para atuar na digestão, sua função como glândula exócrina, e produz os hormônios insulina e glucagon, que são liberados no sangue (figura 43). Para que isto seja possível, suas células “dividem” trabalho. Um grupo delas se organiza numa estrutura denominada de ilhotas de Langerhans, porque formam ilhas entre as células que produzem a secreção pancreática (figura 43). Nas ilhotas há diferentes células, sendo as mais importantes: a alfa (α) produtora do glucagon, e a beta (β) produtora de insulina.

Figura 43: Ilustração do pâncreas, situado entre o estômago e o duodeno. Em destaque a estrutura celular. Observe a localização das ilhotas e Langerhans, situadas entre as células produtoras de enzimas digestivas e bicarbonato.



Fonte: <https://falandodeenfermagemblog.wordpress.com/2013/06/15/pancreatite/>

Quando o nível da glicose se altera, ocorre alteração na produção e liberação dos hormônios pancreáticos. Esse é o controle básico. A alteração mais evidente é na insulina, que responde primordialmente às refeições. O nível de glucagon varia mais discretamente. A ativação do SNA se soma ao controle básico. A acetilcolina, liberada pelas terminações parassimpáticas, aumenta a liberação de insulina, enquanto a noradrenalina simpática inibe essa liberação (veja a figura 5).

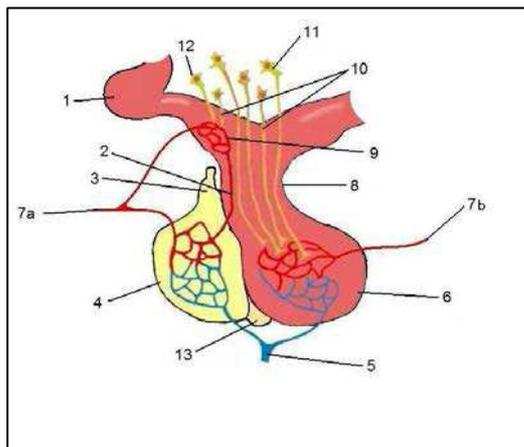
Esses dois exemplos respondem perfeitamente ao controle homeostático imediato dessas variáveis. Contudo, a necessidade tanto do cálcio quanto da glicose varia ao longo do desenvolvimento. Essas variações de longo prazo são controladas pela interação desses hormônios com outros, p.ex., o hormônio do crescimento e a tiroxina, hormônio da tireoide. A seguir vamos descrever como esses hormônios sofrem um controle mais complexo do que a simples resposta ao aumento ou redução de uma variável. E aqui entra a participação efetiva do sistema nervoso controlando o sistema endócrino através da glândula mestra, a hipófise.

Eixo Hipotálamo-Hipófise

A hipófise, também denominada de pituitária, é uma glândula dupla com tamanho aproximado de uma ervilha. Está localizada bem no centro da cabeça, por trás dos olhos (veja a figura 41) e é ligada ao hipotálamo, região do SN, através do pedúnculo hipofisário ou infundíbulo (figura 44). As duas partes da glândula são nomeadas conforme a posição ou a estrutura histológica. A hipófise anterior ou adeno-hipófise é uma glândula propriamente dita, uma vez que suas células produzem hormônios. A hipófise posterior ou neuro-hipófise

é uma região de origem nervosa que armazena hormônios (ou neuro hormônios) produzidos pelo hipotálamo (figura 44). A referência de glândula mestra vem da grande quantidade de hormônios ali produzidos, mas principalmente porque a maioria desses hormônios vai controlar outras glândulas endócrinas.

Figura 44: Ilustração da estrutura da hipófise, suas divisões e as estruturas associadas. 1-hipotálamo; 2-sistema porta-hipofisário; 3-porção tuberal da adeno-hipófise; 4-adeno-hipófise; 5-veia hipofisária; 6-neuro-hipófise; 7a-artéria hipofisária superior; 7b-artéria hipofisária inferior; 8-pedúnculo hipofisário ou infundíbulo; 9-rede de capilar superior do sistema porta; 10-neurônios hipotalâmicos; 11-neurônios secretores da neuro-hipófise; 12-neurônios que controlam a adeno-hipófise, produzindo hormônios liberadores.



Fonte: http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_porte_hypothalamo-hypophysaire

A neuro-hipófise libera dois hormônios: o ADH ou antidiurético ou vasopressina e a ocitocina. O primeiro atua no controle da osmolaridade, regulando homeostaticamente a produção de urina e, conseqüentemente, a perda de água. O segundo atua especificamente na mulher durante o parto (nas contrações) e na amamentação (na ejeção do leite). Esses hormônios são produzidos pelos neurônios do hipotálamo e liberados na neuro-hipófise, através de seus axônios (figura 44 – 11), onde se difundem para a rede capilar (figu-

ra 44 – 7b). O controle de produção e liberação do ADH e da ocitocina depende das conexões que os neurônios hipotalâmicos recebem.

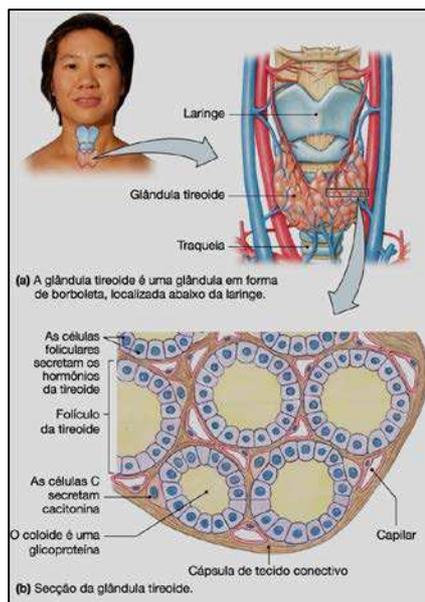
O efeito da adeno-hipófise sobre outras glândulas é denominado de trófico – que faz crescer. A tireoide, a suprarenal e as gônadas só podem liberar seus hormônios se forem estimuladas pelos hormônios tróficos da adeno-hipófise. Mas, a própria adeno-hipófise só pode liberar seus hormônios tróficos com a “autorização” do hipotálamo. O hipotálamo produz hormônios liberadores que são jogados na rede capilar superior do sistema porta-hipofisário (figura 44 – 12). Estes seguem até a rede capilar da adeno-hipófise e atuam ativando a produção e liberação dos hormônios dessas células. Por isso que o termo mais utilizado para caracterizar essas relações é eixo hipotálamo-hipófise. Vamos explicar o eixo através dos hormônios tireoidianos, T_3 e T_4 .

Diferentes células da tireoide produzem a calcitonina, o T_3 e o T_4 (figura 45). Já foi descrito o controle da calcitonina. Os dois últimos, na realidade, são um só em estágios de produção diferentes. As células foliculares da tireoide usam o iodo vindo da alimentação e a tirosina (uma proteína) disponível no seu citoplasma e formam um primeiro composto (monoiodotirosina – veja que o nome é só a junção dos componentes). Novas moléculas de iodo são adicionadas ao primeiro composto até formar o tri-iodotironina (T_3), que já é o hormônio ativo. Outras moléculas de T_3 irão receber mais um iodo, formando a tiroxina (T_4). A liberação do T_3 e T_4 ocorre na presença do hormônio tireotrofina ou hormônio estimulador da tireoide (TSH).

O TSH é liberado pela adeno-hipófise na presença do TRH – hormônio liberador de tireotrofina, produzido pelo hipotálamo (figura

46). Assim, TRH controla TSH que controla T_3 e T_4 . Uma cascata! Esses hormônios e todos os demais, conforme já foi indicado, são produzidos continuamente em um ritmo de liberação que forma o nível basal na corrente sanguínea. Mas um controla o outro pelo mecanismo de *feedback* negativo. Ou seja, a presença de T_3 e T_4 no sangue inibe a produção de TSH e também TRH. A presença do TSH inibe a liberação de TRH. Essa cadeia de inibição irá levar à redução dos níveis basais. A resposta é que o hipotálamo volta a produzir mais TRH, levando ao aumento do TSH e, conseqüentemente, T_3 e T_4 . Consegue perceber? Pulsos de liberação – inibição.

Figura 45: Ilustração da localização e estrutura da glândula tireoide (a) e da organização das células dessa glândula (b).



Fonte: Silverthorn, 2010

O ACTH – hormônio adenocorticotrófico ou corticotrofina é outro hormônio trófico da adeno-hipófise que só é liberado na presença do CRH – hormônio liberador de corticotrofina. O ACTH atua na suprarenal (também referida como adrenal) para esta produzir o

cortisol. Os hormônios gonadais também são regulados pelo eixo e serão tratados no último capítulo. Mas a adeno-hipófise também produz a prolactina e o hormônio do crescimento (GH) que não são hormônios tróficos, mas são controlados por hormônios liberadores hipotalâmicos (veja a síntese na figura 46).

Figura 46: Quadro sintético das relações do eixo hipotálamo-hipófise. Os hormônios que resultam ao final em cada linha de relação estão marcados em azul.

HIPOTÁLAMO Hormônios liberadores	ADENO-HIPÓFISE Hormônios tróficos	GLÂNDULA-ALVO e Hormônio final
Hormônio liberador de tireotrofina (TRH)	Hormônio estimulador da tireoide ou tireotrofina (TSH)	TIREOIDE - T3 e T4
Hormônio liberador de corticotrofina (CRH)	Hormônio adrenocorticotrófico (ACRH)	SUPRARENAL - cortisol
Hormônio liberador de prolactina (PRF)	Prolactina	Mamas (produção de leite)
Hormônio liberador do hormônio do crescimento (GHRH)	Hormônio do crescimento ou somatotrofina (GH)	Fígado (liberação de fatores de crescimento semelhantes IGFs)
Hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH)	Gonadotrofinas: hormônio foliculo-estimulante (FSH) e hormônio luteinizante (LH)	GÔNADAS: Homem - androgênios Mulher - estrogênio e progesterona

Fonte: da autora

O controle de produção e liberação pelas alças de *feedback* negativo mantém os níveis básicos dos hormônios, mas ele não é o mesmo ao longo da vida. As alterações do padrão “básico” ao longo do desenvolvimento são proporcionadas pela integração de diferentes informações no sistema nervoso e que podem interferir no eixo através da origem, o hipotálamo. Assim, durante o crescimento, mais GH será produzido do que durante o envelhecimento. O “acesso” pelo hipotálamo também garante o ajuste a situações inesperadas, mas que podem perdurar. P.ex., uma presa pode fugir do predador e conseguir esconderijo provisório. Enquanto o predador não se afastar desse esconderijo, ela não poderá sair. Durante esse momento (que pode durar até dias), o nível de cortisol do animal estará eleva-

do, uma vez que esse hormônio promove alerta e liberação de glicose para o sangue, entre outros.

Doenças Endócrinas Humanas

A hipersecreção ou hipossecreção de algum hormônio pode gerar doenças. O descontrole da liberação do hormônio pode ser decorrente de várias causas. Entre elas, defeitos nos receptores que medem a presença do hormônio no sangue (aqueles que recebem o “oi”). Se ele não funciona, a célula “interpreta” que não há o hormônio, então produz mais. O aumento na produção também pode ocorrer devido a tumores na glândula.

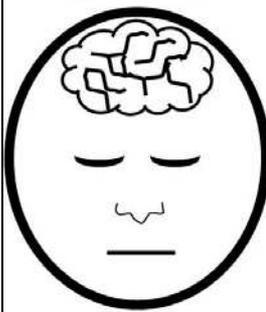
Por outro lado, as glândulas ligadas ao eixo podem atrofiar (perder massa celular) por não “reconhecer” seu sinal trófico. Ou seja, embora o hormônio trófico esteja presente, os receptores não respondem a ele (são insensíveis ou estão com defeito). Com isto, a glândula deixa de produzir e secretar seu hormônio. Um aspecto interessante é que as glândulas podem regular a quantidade de seus receptores, isto é: se houver excesso de um hormônio por um longo tempo, o número de receptores na membrana das células pode diminuir – regulação para baixo (*down regulation*); a ausência de um hormônio por muito tempo pode aumentar a disponibilidade de receptores – regulação para cima (*up regulation*).

Os sintomas das disfunções hormonais revelam as diferentes funções e áreas de atuação dos hormônios. No caso do T_3/T_4 da tireoide, o hipertireoidismo gera intolerância ao calor, porque esses hormônios estão ativam a produção de calor (termogênese), induzindo a produção celular de ATP (que libera calor), mantendo a homeostase da temperatura. O aumento na produção de ATP gera

perda de peso. Também são sintomas a exoftalmia (olhos “esbugalhados”), a irritabilidade e a taquicardia. Os efeitos do hipotireoidismo são: intolerância ao frio, devido à diminuição da produção de calor; inchaço (mixedema); lentidão de raciocínio e bradicardia.

Nas crianças, o T_3 e o T_4 atuam em conjunto com o hormônio do crescimento (GH) e, sem eles, o crescimento e o desenvolvimento não são plenos, principalmente para o sistema nervoso. O excesso de GH, por sua vez, produz gigantismo; em oposição, a falta do GH gera nanismo.

Conforme descrito acima, o cortisol tem função em situações de estresse, principalmente pelo seu papel em aumentar a glicemia. Esse hormônio também é usado para inibir o sistema imunológico em casos de transplante de órgãos. O hipercortisolismo (síndrome de Cushing) gera hiperglicemia, perda de peso com inchaço do tronco e da face. O hipocortisolismo (doença de Addison) produz hipoglicemia, fadiga, perda de peso, irritabilidade e depressão.

<p>exercite sua mente</p> 	<p>Qual é a organização do sistema nervoso para as respostas reflexas? De que modo o sistema nervoso mede as variáveis? Qual é a relação entre a sinapse e a capacidade de avaliação do sistema nervoso? O ritmo do coração, sem regulação, pode sustentar a vida de um animal? Por que os hormônios podem coordenar o crescimento e o desenvolvimento?</p>
--	---

5. COMPORTAMENTO E HOMEOSTASE

Os mecanismos automáticos reflexos nervosos e endócrinos são fundamentais para manter a homeostase. Contudo, eles são ineficientes sem o comportamento. Os animais precisam obter os nutrientes diretamente ligados à homeostase, o que significa respirar, beber água e ingerir alimentos, ações de interação com o ambiente externo. Essas ações precisam estar adequadamente inseridas no contexto ecológico e social dos animais. Ao buscar o alimento, todo cuidado é pouco para não virar alimento de outro animal!

A etologia é a ciência que estuda o comportamento e a reprodução dos animais inseridos na ecologia da espécie. Para a fisiologia, a abordagem desse estudo se insere nos mecanismos “causais” do comportamento, ou seja, as estruturas orgânicas utilizadas para executá-los e os mecanismos que acionam essas estruturas.

Na maioria dos casos, os comportamentos envolvem movimentos do corpo que precisam ocorrer em sintonia com o ambiente. Nos animais vertebrados, o movimento das partes do corpo é proporcionado pela contração de músculos comandados pelo sistema nervoso. Essas contrações são orientadas a partir de informações colhidas no ambiente pelos sensores especiais, os exteroceptores. Essas estruturas e como elas funcionam são o objeto deste capítulo.

Receptores Sensoriais e Órgãos do Sentido

O termo exteroceptor se refere a algo que está “externo”. Mas, muitas vezes, o receptor sensorial não está tão visível na parte

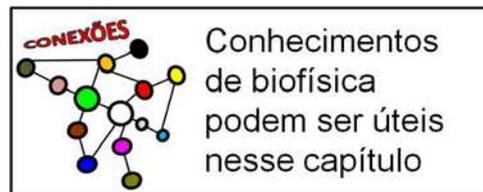
de fora do corpo do animal. Por isso, a melhor definição é que os exteroceptores são receptores sensoriais que captam variáveis do meio externo. Os receptores sensoriais que captam as variáveis fisiológicas do meio interno são denominados de interoceptores ou viscerosceptores. Veremos adiante que existem ainda receptores especializados em monitorar os músculos, os tendões e as articulações, os proprioceptores. Alguns exteroceptores estão organizados em estruturas complexas, os órgãos dos sentidos.

Aqui é preciso tentar separar a experiência pessoal (de humano) da função realizada pelos exteroceptores. Essas estruturas captam energia do meio externo para “construir” com ela uma representação. Observe: quando a membrana da célula da tireoide interage com o íon cálcio presente no sangue (o “oi”), a captação sensorial informa que “*o cálcio está presente no sangue*”. Ou seja, é algo “real”. Quando um exteroceptor de serpente capta temperatura, essa medida representa proximidade ou não de outros, ela não é usada como temperatura “em si”, mas uma representação de algo do ambiente, que podemos considerar um sentido. Vamos retornar a esse raciocínio adiante.

Desde o início deste livro, já sabemos que os receptores sensoriais são estruturas especializadas em medir alguma variável. No capítulo anterior, foi descrito que a medição se constituía no processo de transdução, a conversão de um tipo de energia para impulso nervoso. O exemplo do funcionamento do baroreceptor na fiscalização da pressão arterial serve também para se evidenciar alguns princípios da captação sensorial: 1 – a variável medida promove uma alteração na membrana do receptor; 2 – a alteração é a origem da corrente alternada de íons, o impulso nervoso (a transdução); 3 –

a alteração na membrana do terminal receptor precisa ser conduzida até o terminal sináptico do neurônio sensorial que fica dentro do SNC; 4 – a “medida” em si da variável, a intensidade, é convertida em quantidade ou frequência de impulsos nervosos gerados em uma unidade de tempo (relembre: fluxo normal, 50 impulsos; redução do fluxo, 30 impulsos).

Todos os exteroceptores seguem os princípios acima descritos. Eles vão diferir no mecanismo que promove a transdução. Cada tipo de exteroceptor é apropriado para um estímulo específico, para o qual desenvolveu uma estratégia de transdução.



Fonte: da autora

P.ex., o baroreceptor é um me-
canorreceptor, pois ele transduz um estímulo mecânico – a deformação física do terminal receptor. A superfície externa dos animais, incluindo seus apêndices móveis (patas, antenas, etc.), é recheada de receptores do tipo mecânico, que reagem à deformação pelo contato, e que formam o sentido geral do tato (que inclui vibração e temperatura). Com o tato os animais podem representar a textura da superfície onde estão se deslocando. A partir da comparação da captação sensorial de diferentes partes do corpo, o tato pode informar variações na forma e na profundidade da superfície. Sensores de tato também podem dar noção do ambiente à distância. Os receptores da linha lateral de peixes e anfíbios reagem ao movimento da água e o pêlo dos mamíferos, reage ao vento.

Em todos os casos citados acima, ocorre uma deformação na membrana dos terminais receptores dos neurônios sensoriais gerando a transdução. Por mais sutil que possa parecer um toque,

ele irá deformar a pele e, junto com ela, a membrana dos terminais. O sentido da audição e o sentido do equilíbrio são produzidos por mecanorreceptores, mas eles estão inseridos em órgãos.



Observe que quando vestimos a roupa íntima ou colocamos os óculos ou um relógio de pulso, nesse momento percebemos o contato dessas estruturas com nossa pele. Após esse momento, é como se nós “esquecêssemos” deles. Use os sites de busca e investigue a **adaptação sensorial**.

Fonte: da autora

A audição é um sentido produzido pelo movimento do ar e captado por um órgão: o ouvido (figura 47). O ouvido dos mamíferos possui três divisões: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno ou cóclea. Há toda uma “engenhosidade” para converter o movimento do ar em impulso nervoso. O receptor sensorial é a célula pilosa que fica dentro da cóclea. E todas as demais estruturas do ouvido estão organizadas para fazer chegar até esses receptores a mínima variação do ar. É importante lembrar que o receptor de cada animal é capaz de captar o estímulo dentro de uma faixa ou espectro auditivo que está sintonizado com os próprios sons do animal e os sons importantes no ambiente para ele.

O ouvido externo é formado pela orelha ou pavilhão auricular e o canal auditivo, ambos especializados em conduzir o movimento do ar até o fundo do canal, onde começa o ouvido médio com o tímpano. Cabe esclarecer que o ar se movimenta em ondas de compressão de partículas. A frequência dessas ondas é medida em Hertz e corresponde ao tom do som (agudo – muitas ondas; grave – poucas ondas). O volume ou intensidade do som é medido por decibéis (dB) e refere-se à amplitude da onda (mais alta – som alto; mais

baixa – som baixo). Pelos princípios da transdução, o volume do som será convertido na quantidade de impulsos nervosos – quanto mais alto o volume, mais impulsos serão gerados. O tom será convertido de outra forma.

Figura 47: Ilustração do ouvido humano com suas subdivisões: ouvido externo, médio e interno, e as estruturas que fazem parte de cada uma delas. Observar os canais semicirculares que fazem parte do órgão do equilíbrio.



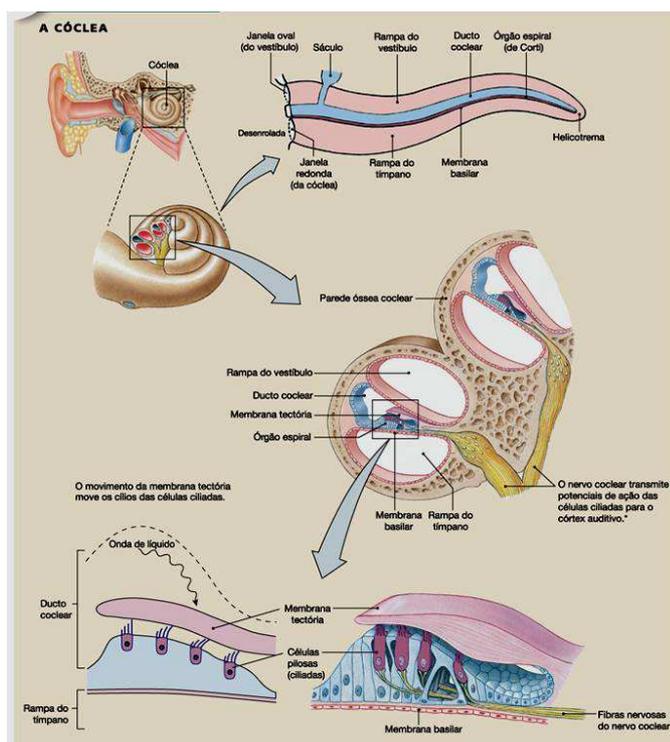
Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/FisiologiaAnimal/sentido5.php>

O ar que entra no canal auditivo é “lançado” sobre o tímpano, que é uma membrana flexível. A quantidade de vibração dessa membrana é correspondente à frequência das ondas do ar. A força com que cada onda empurra o tímpano, é a amplitude. Na face do tímpano virada para o ouvido médio, existem três ossículos articulados uns aos outros: o martelo, ligado ao tímpano; o estribo, ligado ao martelo numa ponta e na outra, ligado à bigorna, o último ossículo. A bigorna se liga a uma “porta” da cóclea: a janela oval. O movimento no tímpano gera movimento correspondente em todos os ossículos e a bigorna “repete” a vibração do tímpano na janela oval (figura 47).

A janela oval é a entrada da cóclea que aparenta um tubo enrolado em forma de caracol. Esse tubo apresenta três divisões internas: rampa do vestíbulo (onde está a janela oval), ducto coclear

e rampa do tímpano (onde está a janela redonda). As três divisões são preenchidas por líquido e quando a janela redonda vibra, resulta em onda nesse líquido. A parede que separa as divisões se move com a onda. Na parte mais central do ducto coclear há o órgão de Corti, estrutura onde estão localizadas as células pilosas, os receptores sensoriais. A estrutura desse órgão faz com que a onda do líquido coclear empurre os cílios das células pilosas para um lado, abrindo “portas” de íons e iniciando a despolarização, para o outro fechando essas portas, a repolarização (figura 48).

Figura 48: Ilustração da cóclea a partir de vários ângulos. O destaque superior mostra a cóclea “desenrolada”, permitindo a visualização das janelas oval e redonda e da três divisões cocleares na horizontal, evidenciando que a parte final é mais estreita. Os dois desenhos inferiores ilustram o órgão de Corti, onde estão localizadas as células pilosas. No primeiro deles, há a indicação do movimento dos cílios com a passagem da onda do líquido coclear.

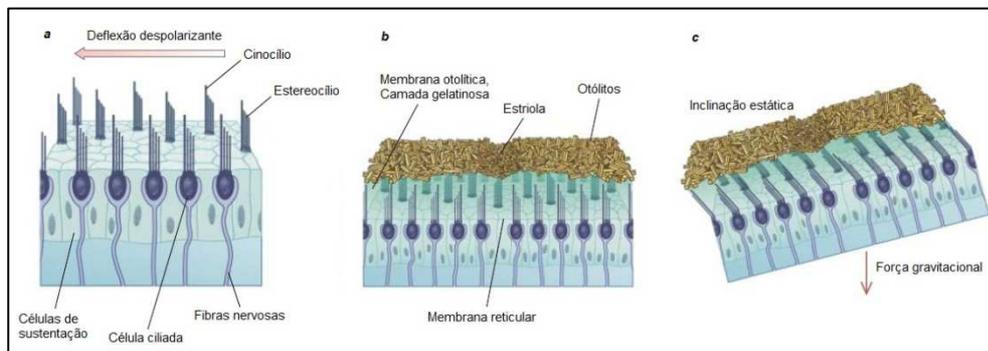


Fonte: Silverthorn, 2010

O processo que garante que as características originais do som serão conservadas na linguagem do sistema nervoso é o de codificação. A amplitude do som, ou seja, seu volume – a força com que empurrou o tímpano, este os ossículos, então a janela oval e, por fim, formou a onda no líquido coclear, será codificada como frequência de impulsos surgidos nas células pilosas. O tom (agudo ou grave) vai ser codificado a partir do local do ducto coclear em que as células pilosas foram estimuladas. Observe: no início da cóclea, as paredes que separam as divisões são mais rígidas do que no final. Os sons agudos correspondem a ondas bem próximas umas das outras, vários ciclos por minuto, o que vence a resistência da região inicial gerando a onda já a partir dali. Mas os sons graves produzem poucas ondas, então essa onda só irá reverberar nas células pilosas do meio para o fim do ducto coclear. Esta organização é denominada de tonotopia. Com isso, no receptor sensorial já se “sabe” o volume e o tom do som. O que ele significa e de onde está vindo dependerá da avaliação do SNC.

Estão ligados à cóclea os canais semicirculares (figura 47), também conhecidos como labirinto membranoso. Essas estruturas guardam os receptores sensoriais do equilíbrio dos mamíferos. O movimento da cabeça faz girar o líquido dentro desses canais, movimentando também estruturas gelatinosas denominadas de máculas, as quais contêm as células ciliadas (figura 49). A “gelatina” movimenta mais devagar do que o líquido, mas pequenas partículas de cristais, denominados de otólitos, também estão ligadas a essa gelatina e ajudam no efeito que permite a despolarização das células ciliadas. A inflamação dessas estruturas é o que provoca a labirintite.

Figura 49: Ilustração da mácula do labirinto membranoso, indicando (a) as células ciliadas sem a camada gelatinosa; (b) indicando os estereocílios dentro da membrana gelatinosa coberta por uma camada de partículas de cristais, os otólitos; e (c) o funcionamento da mácula com o movimento da cabeça em inclinação. Detalhe de como o otólito, movimentado pela força gravitacional, desloca a membrana gelatinosa e consequentemente os estereocílios.



Fonte: <http://animafisio.blogspot.com.br/2013/11/equilibrar-se-e-um-processo-fisiologico.html>

Os terminais dos neurônios sensoriais estão conectados às células pilosas seja na cóclea ou no labirinto. Na primeira, seus axônios formam o nervo coclear (figura 48), enquanto os axônios do labirinto formam o nervo vestibular, que se une ao coclear no VIII par de nervos cranianos, o vestíbulo-coclear. Esses axônios farão sinapses com neurônios associativos no tronco encefálico, dando início ao processamento neural, ou seja, a elaboração de respostas a partir dessa informação captada.

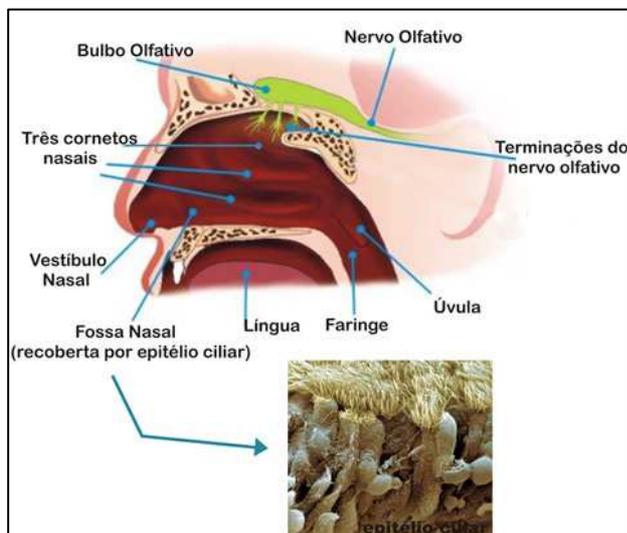
Apesar de toda essa elaboração, o ouvido só é capaz de transduzir estímulos mecânicos. Os receptores sensoriais do tato são mecanorreceptores, mas não conseguem transduzir as ondas do ar como um som, embora se ficarmos perto de uma caixa de som com volume muito alto, podemos ter a sensação de toque na pele. Estas observações visam reforçar o princípio de que cada receptor é especializado naquilo que capta.

Quimiorreceptores são estruturas capazes de reagir às moléculas químicas. No meio interno, sensores que medem glicose ou O₂ são quimiorreceptores. Os mamíferos são capazes de sentir cheiro (olfato) e sabor (gustação) através do epitélio nasal e dos botões gustatórios. Nesses casos, o caráter de “representação” que foi destacado no início do capítulo é mais próximo da “realidade”.

Os receptores sensoriais do olfato são neurônios bipolares que estão localizados no epitélio ou mucosa nasal, região final dos cornetos nasais (figura 50). O prolongamento anterior desse neurônio se ramifica em muitos cílios que servem como “armadilha” para as moléculas odorantes. Atenção: o epitélio das fossas nasais é recoberto de pelos, mas os cílios são prolongamentos dos neurônios. Os pelos servem para capturar partículas de poeira ou outros, limpando o ar para entrar em contato com os cílios. As substâncias que liberam moléculas odorantes podem estar próximas ou distantes. Tornando o olfato um excelente guia para alcançar alimentos.

O mecanismo de transdução é mais simples. A molécula odorante se liga ao cílio já na membrana celular, em um receptor específico, o que irá gerar a corrente de despolarização do impulso nervoso. Quanto mais moléculas de um mesmo tipo, a frequência de impulsos nervosos produzidos será maior e também maior será a intensidade do cheiro. Só que um cheiro é na verdade a combinação de várias moléculas captadas. Uma mesma célula olfativa pode reagir a diferentes partículas odorantes. Além disso, os axônios das células bipolares irão levar a informação para o bulbo olfatório, através do pequeno nervo olfatório (I par craniano), para núcleos (glomérulos) que combinam a informação vinda de diferentes receptores.

Figura 50: Ilustração caracterizando o órgão olfativo humano. Observar as projeções em verde que representam os neurônios sensoriais. O destaque abaixo em fotomicrografia é referente aos pelos nasais.

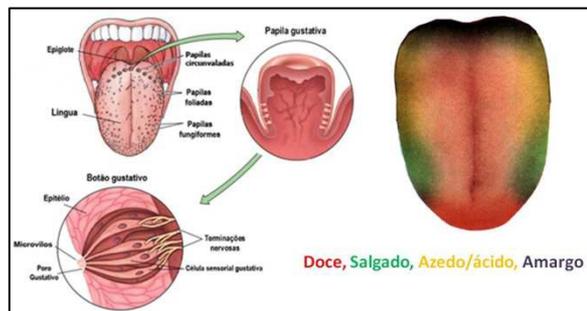


Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/FisiologiaAnimal/respiracao5.php>

Diferentemente do odor, há ao menos alguns sabores básicos que podem ser diferenciados: doce, salgado, azedo ou ácido, amargo e umami (sabor de glutamato monossódico). Os receptores sensoriais do sabor são as células pilosas dos botões gustatórios ou gustativos. Semelhante à mucosa olfativa, os cílios dessas células capturam moléculas diretamente na sua membrana. Contudo, as moléculas estão dissolvidas na saliva. Os botões gustatórios estão inseridos em papilas, estruturas que possuem formatos diferentes, o que lhe atribui os nomes: circunvalada, foliada e fungiforme. Elas estão distribuídas diferentemente na mucosa lingual (figura 51). Tradicionalmente, acreditava-se que cada um dos sabores era captado em uma região diferente da língua e por cada uma das diferentes papilas. Atualmente sabe-se que, embora ocorra alguma predominância do sabor, todos os sabores podem ser “sentidos” nas diferentes regiões da língua (figura 51).

Os terminais nervosos ligados às células pilosas são conduzidos por três nervos, conforme a localização do botão. Da ponta para a porção final da língua, formam o nervo facial-lingual (VII par craniano); na porção posterior, formam o glossofaríngeo (IX par); os botões situados na epiglote enviam axônios pelo nevo vago (X par). Todos esses nervos seguem para o tronco encefálico.

Figura 51: Ilustração representando a distribuição das papilas gustativas na língua, com destaque para uma papila circunvalada e dela, um botão gustatório com suas variadas células. À direita, a imagem de uma língua colorida a partir da região de captação dos sabores básicos, descritos abaixo, conforme definição tradicional.



Fonte:

http://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_quimico3.htm

A luminosidade é um dos elementos fundamentais na natureza. Ela indica as fases do dia e inclusive do ano, fornecendo uma dica importante sobre o ambiente para os animais. Células fotorreceptoras surgiram muito cedo na filogênese e vários animais desenvolveram olhos. Os mais simples são úteis para diferenciar o claro do escuro, outros podem identificar a origem da luz, a partir da capacidade de diferenciar a inclinação do raio luminoso. Olhos mais complexos podem, além da luminosidade, perceber movimento. Os mais desenvolvidos podem formar imagem. Aqui temos o ápice da ideia de “representação” do ambiente. A partir da informação luminosa, os animais desenvolveram a capacidade de “combinar” infor-

mações individuais sobre luz criando um “sentido” de forma/espço, além do movimento.

Em essência, o olho é uma lente que capta os raios luminosos (um painel de captação solar!). Os mamíferos possuem olho de lente única, enquanto os insetos desenvolveram um olho composto com milhares de lentes (figura 52). O objetivo da lente é enviar o raio luminoso para uma superfície de “revelação” (na analogia com uma máquina fotográfica antiga). Essa superfície é a retina, a estrutura que contém as células fotorreceptoras, os cones e os bastonetes.

Figura 52: Fotos destacando o olho da coruja, com apenas uma lente, e o olho composto de um inseto, com milhares de lentes.

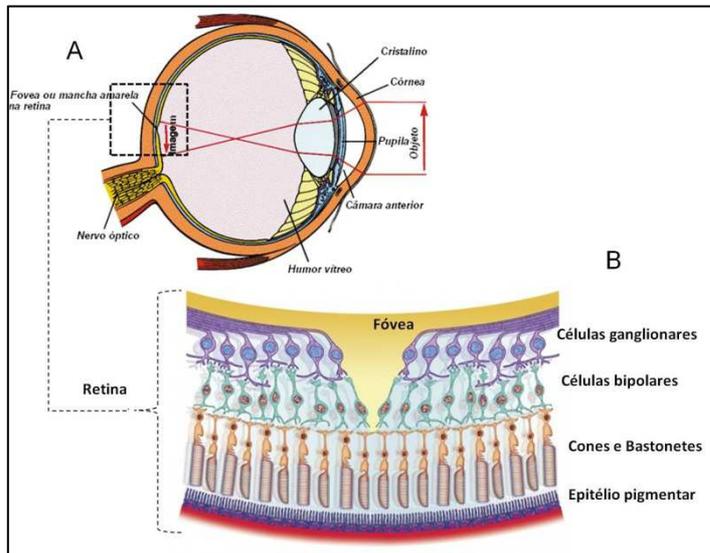


Fonte: <http://www.gentequeeduca.org.br/planos-de-aula/modo-de-enxergar-humano-e-de-outros-animais> e http://izismile.com/2009/10/27/extreme_close-ups_of_insects_eyes_18_pics.html

A lente do olho dos mamíferos é uma estrutura gelatinosa e flexível, o cristalino. Mas, para a luz chegar até ele, precisa atravessar estruturas anteriores: a córnea, uma película transparente que está separada do cristalino por um líquido, o humor aquoso. Ainda nessa região, está localizada a pupila (a abertura de um anel muscular) que, junto com a íris (estrutura muscular radial pigmentada ligada à pupila e que dá cor aos olhos), controla a quantidade de raios

luminosos que atravessam o cristalino (figura 53).

Figura 53: Em A, ilustração da estrutura interna do olho; em B, destaque para algumas das camadas da retina na região da fóvea (células horizontais e amácrinas não foram ilustradas). Observe a inclinação das linhas vermelhas em cada estágio dentro do olho, na figura A, o que representa a refração.



Fonte: A- <http://www.infoescola.com/visao/globo-ocular/>; B- modificado de <http://www.retinaformativa.com.br/bio-retina-comeca-ensaios-clinicos-em-2013/>

A lente é o meio de refletir os raios luminosos para a retina, mas antes, os raios terão que atravessar uma cavidade com líquido gelatinoso, o humor vítreo. Na passagem do ambiente externo até a retina, a propagação do raio de luz sofre um processo de refração. Em virtude de atributos físicos – a curvatura da superfície (na córnea) e a propagação do raio no ambiente com líquido de diferentes consistências (no humor aquoso, no cristalino e no humor vítreo) – o raio luminoso captado na parte inferior da córnea será projetado na parte superior da retina (observe na figura 53-A).

A retina é uma estrutura composta por sete camadas ou regiões. Chegando a ela “por dentro” do olho, ou seja, após o humor vítreo, encontra-se a seguinte sequência: camada dos axônios das

células ganglionares; camada ganglionar, com os corpos das células ganglionares; camada plexiforme interna (que contém projeções das células ganglionares e das bipolares, mais as células amácricas); camada nuclear interna (com os corpos das células bipolares); camada plexiforme externa (que contém projeções das células bipolares e dos fotorreceptores, mais as células horizontais); camada nuclear externa (com os fotorreceptores cones e bastonetes); e camada pigmentar.

A luz vai percorrer essa sequência, chegando até os fotorreceptores e dispersando o restante de luz (fótons) na camada pigmentar. Os receptores sensoriais, os cones e bastonetes, possuem pigmentos em sua membrana que reagem na presença da luz. Os cones são responsáveis pela visão de cores, enquanto os bastonetes reagem ao claro e escuro e ao movimento. A reação bioquímica entre fóton e pigmento não será abordada aqui, mas é ela que gera correntes iônicas que culminarão com a despolarização das células ganglionares (os neurônios sensoriais). Observe que essas células estão no “início” das camadas da retina. Uma vez que luz atinja o fotorreceptor, o efeito vai retrocedendo entre as células da retina. As primeiras a receber a informação são as bipolares que comunicam para as ganglionares. Contudo, na primeira comunicação há “interferência” das células amácricas e, na segunda, das células horizontais. A informação que chegar até as células ganglionares é enviada para o SNC através dos axônios dessas células que formam o nervo óptico (o II par craniano). Esses axônios formam a primeira camada da retina (figura 53).

Com todas essas interações celulares, a retina já é um grande centro de processamento. Além disso, sua organização permite

codificar vários aspectos do estímulo. Há uma região mais central, a mácula lútea, da qual faz parte a fóvea. Esta área da retina para qual o cristalino está focalizado, sendo o local da formação da imagem retiniana e onde só há presença de cones; os bastonetes preenchem principalmente a periferia da retina, onde há poucos cones.

A transdução transforma luz, som, cheiro, sabor, etc. para a linguagem do sistema nervoso, o impulso nervoso, sinais que serão enviados ao SNC. A pergunta que pode ser feita é: *“de que modo o SNC saberá que é um som e não um cheiro, já que todos passaram a “ser” impulso nervoso?”* Há três argumentos para isto. 1- Os receptores não são os mesmos. A especificidade da transdução garante que cada receptor sensorial se especialize em captar um tipo de estímulo. 2- O caminho ou a via por onde a informação segue é diferente e não há mistura. P.ex., pelo nervo olfativo só caminham sinais captados no receptor do olfato. 3- A área do SNC para onde a informação será levada, ou seja, a área de projeção é específica.

Hierarquia de Função no Sistema Nervoso Central

Conforme a justificativa deste capítulo, os exteroceptores captam informações do ambiente externo para organizar e orientar o movimento dos animais na busca por sua sobrevivência (respirar, comer, beber e não servir de alimento a outro animal) e para a reprodução. Essas informações são a base para o estabelecimento de funções cognitivas: formação da memória, direcionamento da atenção e planejamento de ação. Funções presentes em todos os animais (nos invertebrados ao menos a memória). Talvez pareça estranho a você que os animais executem planejamento. Mas, imagine um felino se aproximando de uma presa. Essa é uma ação que ne-

cessita de planejamento. Nos humanos, as funções cognitivas se ampliaram. As sensações formam a base da percepção, da linguagem, dos sentimentos, entre outros, funções que envolvem a consciência em vários níveis: “eu sei” e “eu sei que sei”.

Para dar conta de regular os sistemas fisiológicos internos, orientar a alimentação somada à proteção do animal e ainda estabelecer a cognição, o SNC precisou dividir tarefas de modo hierárquico. Nos vertebrados, os músculos, a pele e os sensores que estão no corpo, sem incluir a cabeça, estão conectados à medula, via nervos aferentes e eferentes (os nervos espinhais). A comunicação com os órgãos internos, pela via simpática e em parte pela parassimpática, também se dá através da medula. Uma vez que os neurônios medulares “recebem” informações dos neurônios sensoriais e que ali se encontram neurônios efetores, respostas emergenciais podem ser acionadas pelos neurônios associativos medulares, p.ex.: reflexos de proteção (veja a figura 38 do capítulo anterior). Desse modo, a medula serve como centro de integração de respostas imediatas (reflexos).

Contudo, as informações sensoriais não se restringem à medula, elas são encaminhadas para os demais centros, através de longos prolongamentos dos neurônios sensoriais, o que forma os tratos ou as vias ascendentes da medula. Por sua vez, os demais centros interferem nos circuitos medulares e, para isto, precisam enviar axônios até eles, formando os tratos ou as vias descendentes da medula (conforme exemplificaremos adiante).

O tronco encefálico recebe a maior parte da sensibilidade visceral e dos sensores do meio interno através de um grupo de

neurônios que formam o núcleo do trato solitário. Também chegam ao tronco as informações da pele da região da cabeça e dos sensores especiais (audição, equilíbrio e gustação), sendo ele encarregado de retransmiti-las ao cérebro, via tálamo. Partem do tronco os neurônios ligados aos músculos da região da cabeça e os neurônios pré-ganglionares parassimpáticos. E há muitos grupos de neurônios que enviam axônios para os circuitos da medula (pelas vias descendentes). De tal modo, essa região pode realizar reflexos comportamentais e viscerais complexos.

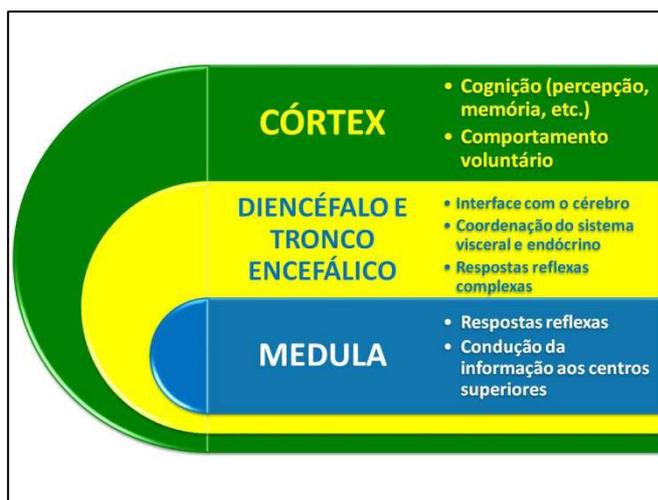
O tronco mantém íntima ligação com o cérebro, através do diencéfalo, o que resulta de influências mútuas. Informações que chegam ao tronco são enviadas para regular o sistema endócrino, via hipotálamo. Alguns grupos de neurônios hipotalâmicos funcionam como marcadores de tempo, o relógio biológico. Esses neurônios enviam axônios para o tronco, permitindo o controle do ciclo vigília-sono (CVS). É interessante que o CVS está relacionado ao padrão de atividade dos neurônios corticais e, quem controla isto é o tronco encefálico, região hierarquicamente inferior.

Direta ou indiretamente, todas as informações que circulam no sistema nervoso chegam até o córtex. De “posse” das informações, ele pode realizar as funções cognitivas relacionadas acima. Mas também, porque nele estão as regiões de controle dos movimentos voluntários, aqueles que estabelecem os comportamentos. Movimentos direcionados a algo, que exigem um plano de execução e a coordenação para que o plano seja executado corretamente. Obviamente, para estabelecer o plano, faz-se necessário reunir informações relativas ao movimento desejado, p.ex., qual a distância está a presa do corpo do predador. Essas informações chegam ao

córtex vindas dos exteroceptores (visão, audição, olfato e tato). Para realizar todas as suas funções, o córtex comanda hierarquicamente as demais regiões do SNC, sobrepondo seu comando às respostas que estiverem em andamento por força dos reflexos. P.ex.: o enchimento da bexiga urinária desencadeia, reflexamente, a micção. Mas o córtex inibe esse reflexo, conforme o contexto. Além disso, a massa cortical está organizada conforme sua função, de tal modo que ele pode ser dividido em regiões funcionais, conforme veremos adiante. A figura 54 resume as atribuições de cada área do SNC.

Antes de prosseguir, um esclarecimento. Popularmente as funções cognitivas estão associadas ao cérebro. Contudo, anatomicamente cérebro é o conjunto do diencefalo e telencéfalo (hemisférios cerebrais e núcleos da base). A cognição é atributo do córtex, a região mais externa dos hemisférios cerebrais, e também é filogeneticamente a mais recente. Agora você já pode usar o termo correto!

Figura 54: Esquema sintetizando as funções das divisões do sistema nervoso central, indicando a relação hierárquica entre elas.

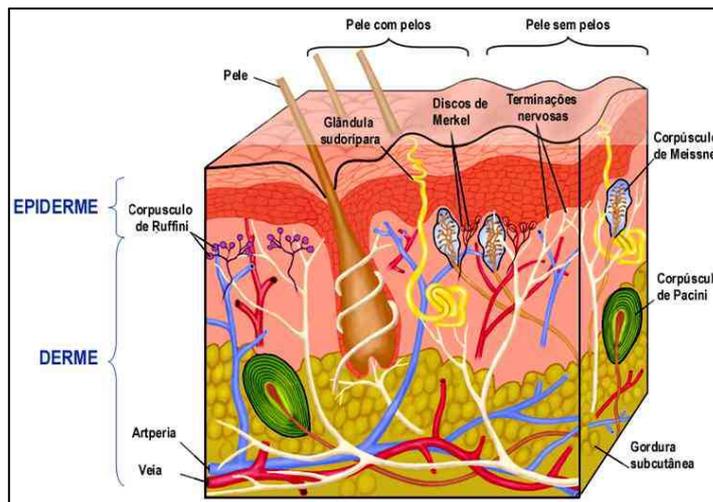


Fonte: da autora

Vias Sensoriais e Percepção

Para exemplificar as funções exercidas por cada região do SNC, vamos utilizar o exemplo da sensibilidade somestésica ou somestesia no ser humano. Vimos que o sentido do tato é a resposta às deformações dos terminais sensoriais que estão na pele. Na prática, há muitos tipos de receptores (figura 55), descritos a seguir. O conjunto de todas as informações enviadas por esses receptores forma a sensibilidade da pele do corpo (soma), denominada somestesia. Por consequência, receptores somestésicos (termo genérico para o conjunto) e via e área de projeção somestésica.

Figura 55: Ilustração de fragmento de pele com os vários tipos de receptores somestésicos. Observe as terminações nervosas (em cor branca) e compare com os demais receptores ditos encapsulados.



Fonte: http://sistemasensorial02.blogspot.com.br/2010_09_01_archive.html

Os terminais dos prolongamentos periféricos (ou projeções) dos neurônios sensoriais funcionam como receptores sensoriais da pele. Alguns são terminações livres. Livres porque são comparados aos demais que possuem uma cápsula recobrindo a membrana. As

terminações encapsuladas formam os corpúsculos: Meissner, Pacini, Ruffini e os discos de Merkel. Esses corpúsculos são mecanorreceptores, mas reagem à deformação em velocidades diferentes. A combinação da ativação de cada um deles permite a “representação” da textura, da vibração, pressão e da forma dos objetos do mundo. Alguns desses corpúsculos possuem axônios mielinizados e constituem a via da sensação do tato fino ou epicrítico. Outros, com axônios sem mielina, constituem a via da sensação do tato grosseiro ou protopático.

Já as terminações nervosas livres são especializadas em captar estímulos nocivos – qualquer coisa que promova risco às células (temperatura alta ou baixa, ruptura de células, substâncias ácidas, compressão das células, etc.). Todos esses estímulos conseguem ativar a despolarização nesses receptores que recebem o nome de nociceptores. Observe que o nociceptor é receptor sensorial inespecífico, diferente de todos os demais que só respondem a um tipo de energia. Ele é o receptor da dor. Alguns nociceptores possuem axônios mielinizados (as fibras A), enquanto outros não (fibras C). Outras terminações livres se especializaram em responder às variações de temperatura do ambiente, são os termorreceptores.

Neste ponto, é preciso que se faça um retorno a alguns termos, unificando-os. Os neurônios sensoriais ligados à pele se estruturam como aqueles ilustrados em azul na figura 38 do capítulo anterior. Relembre que esse é um neurônio do tipo pseudounipolar (figura 35), com um prolongamento dirigido à periferia e outro que segue para o SNC. Ambos os prolongamentos são denominados de axônio ou fibra aferente, e eles fazem parte dos nervos aferentes ou sensoriais constituintes dos nervos espinhais.

A captação da audição, do equilíbrio e da gustação é realizada por células pilosas ou ciliadas, mas os terminais nervosos que se ligam a elas são prolongamentos periféricos de neurônios pseudounipolares que fazem parte de nervos cranianos (VIII, VII, IX e X pares cranianos). Os receptores olfativos são os próprios neurônios sensoriais, que nesse caso são do tipo bipolar, e seu axônio forma o nervo (I par craniano). A célula ganglionar da retina é um neurônio sensorial do tipo multipolar e seu axônio forma o nervo óptico (II par craniano). A sensibilidade somestésica da face é reunida basicamente no nervo trigêmeo (V par craniano).

Os neurônios sensoriais também recebem a denominação de neurônio sensorial primário, porque ele é o primeiro de uma cadeia, a via sensorial. A via é o caminho que a informação segue dentro do SNC.



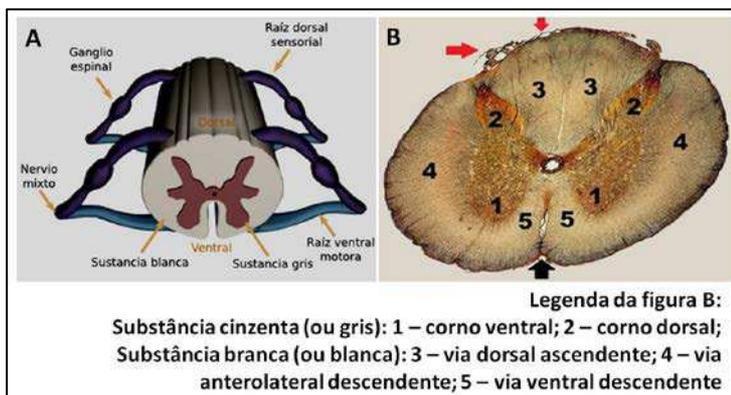
Fonte: da autora

Conforme foi descrito, de qualquer forma essa informação tem que chegar ao córtex. Uma vez que o córtex fica para cima, as vias sensoriais são as ascendentes. No caso da somestesia, os axônios sensoriais chegam à medula através do nervo espinhal (que é misto). Observamos que, na ligação com a medula, os ramos sensitivo ou aferente e motor ou eferente deste nervo estão separados (figura 56). Os axônios do ramo sensitivo entram pela raiz dorsal, e chegam ao cornu dorsal da substância cinzenta da medula (figura 56).

Os axônios que chegam “não se misturam”. Eles são extremamente organizados. As fibras do tato fino formam uma via específica – a via da coluna dorsal ou fascículo grácil. As fibras do tato

grosseiro, nociceptivas e de temperatura formam a via anterolateral ou trato espinotalâmico anterior. Essas vias têm importantes diferenças. Na via dorsal, os axônios sensoriais entram na medula e do corno anterior, se curvam e sobem através da coluna dorsal, seguindo até o tronco encefálico, na região do bulbo (figura 57). É o mesmo axônio que veio da periferia do corpo, p.ex., do pé. Lembra-se que alguns axônios podiam ter até mais que um metro? Quantos centímetros têm da ponta do seu dedo mínimo do pé até sua nuca? Este será o comprimento da fibra sensorial que comunica sobre o tato em seu dedo.

Figura 56: Em A, ilustração da medula espinhal, destacando o nervo espinhal (nervio mixto) e suas raízes: dorsal sensorial e ventral motora. Observe a indicação do gânglio espinal (ou dorsal), no qual estão os corpos dos neurônios sensoriais. Em B, foto de corte histológico de medula indicando suas diferentes regiões. As setas vermelhas indicam a membrana que recobre a medula e a seta preta, indica a fissura mediana anterior (ou ventral) da medula.

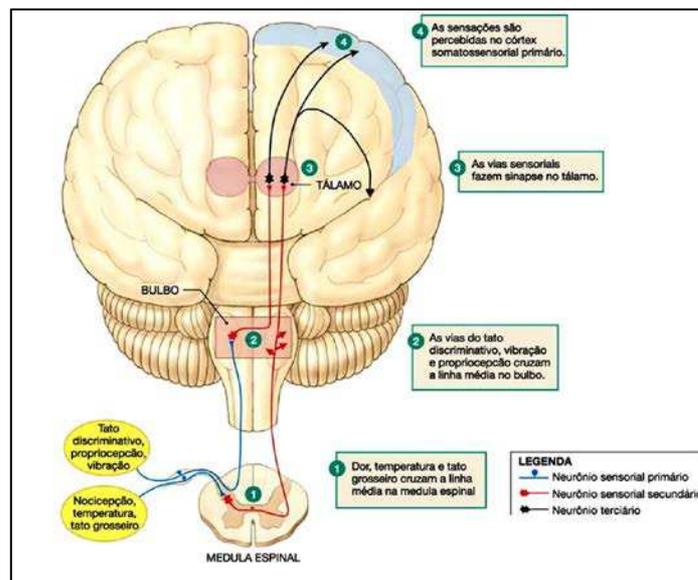


Fonte: A - http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/guiada_o_a_01medula.php; B - http://histoufff.blogspot.com.br/2013_08_01_archive.html; Legenda – da autora.

No bulbo irá ocorrer a primeira sinapse dessa via. O próximo neurônio será denominado de neurônio sensorial secundário, por motivos óbvios. Após a sinapse, ocorrerá algo significativo. Os axônios do neurônio secundário mudarão a rota, cruzam a linha média do corpo, saindo de um lado do corpo, seguindo em direção ao tá-

lamo, região do diencefalo. Nos núcleos do tálamo estão os neurônios terciários, que recebem sinapse do secundário. Seus axônios seguem para o córtex somestésico ou somatossensorial primário no hemisfério do lado em que está. O córtex é “feito” de neurônios e será com eles que os neurônios terciários realizarão sinapse. Nesse momento terá início à percepção do tato (“*Opa! Agora eu senti algo!*”) (figura 57).

Figura 57: Ilustração das via sensorial dorsal (tato discriminativo) e da via sensorial anterolateral (nocicepção). Observe o momento em que cada via cruza a linha média (pontos 1 e 2). Atenção para as setas na via anterolateral no ponto 2 (em vermelho), que representam ramificações do axônio para o tronco encefálico, bem como o ramo curvado (em preto), após a sinapse no tálamo, no ponto 3, para o córtex límbico. Essas ramificações representam a “distribuição” da informação de dor. Veja mais detalhes no texto.



Fonte: adaptado de Silverthorn, 2010

A via dorsal fornece as informações para o córtex cumprir sua função cognitiva de percepção – ainda há mais detalhes que por hora não vamos abordar. A via é rápida porque os axônios são mielinizados e só há três sinapses. Outra característica é sua extrema

organização. Os axônios que formam a via dorsal são oriundo de todas as partes do corpo. Contudo, eles mantêm sua posição em relação aos demais ao longo de todo o trajeto. Quer dizer: os axônios que vieram do pé entraram primeiro na medula. Em seguida, vieram os da perna, ficando ao lado dos primeiros. Os axônios da coxa ficarão ao lado dos da perna, e estes, agora, entre os da coxa e os do pé. Assim por diante, de tal forma que, na altura cervical da medula, os axônios do pescoço estarão mais para o lado de fora do fascículo, enquanto os do pé estarão próximos ao sulco mediano posterior (o meio da medula).

Quando os neurônios primários fazem contato com os secundários e estes com os terciários, essa organização é mantida. Assim, os neurônios do córtex somestésico que são acionados pelos axônios vindos do pé, não se conectam com os que vêm da mão, p.ex. Por isso, quando uma área específica do córtex somestésico é acionada, nossa sensação é exatamente de que algo está ocorrendo em uma parte específica de nosso corpo. Esse fenômeno é chamado de somatotopia. A interpretação disto gera desenhos do nosso corpo, do modo como ele está representado no córtex somestésico, o homúnculo sensorial.

Além de gerar a percepção tátil, as informações da via dorsal guiam comportamentos, sendo disponibilizadas para as estruturas que organizam o movimento. Para dar um exemplo, imagine-se segurando um copo. A sensação tátil é útil para a definição da força de contração dos músculos dos dedos. Se o copo “tentar” escorregar, sua percepção é ativada e corrige imediatamente a força da contração. Isso só é possível devido à velocidade da condução da informação na via que acabamos de descrever.

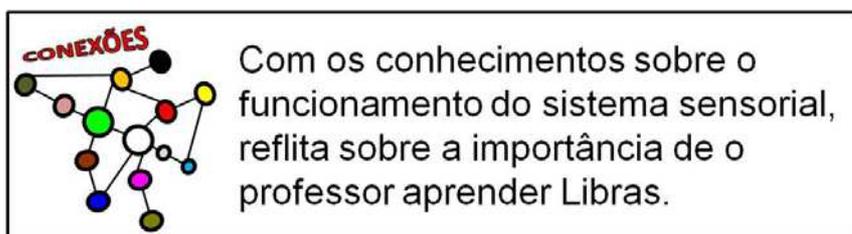
A via anterolateral já realiza a primeira sinapse com o neurônio secundário no corno dorsal da substância cinzenta da medula, na região denominada de substância gelatinosa. Mas, o neurônio primário também fará sinapse com neurônios associativos medulares. O neurônio secundário cruza a linha média na medula e então se curva para formar o fascículo espinotalâmico anterior. Esse axônio se alonga até os núcleos tálamo e, nesse caminho, ele emitirá ramificações para a região do tronco encefálico. Assim como na via dorsal, os núcleos do tálamo contêm os corpos dos neurônios terciários, que recebem sinapse dos secundários. O neurônio terciário se projeta para o córtex somestésico do hemisfério do mesmo lado, mas também emite uma projeção em direção à região límbica do córtex (figura 57).

A via anterolateral conduz informação a respeito de dor e da temperatura. Os axônios mielinizados dos nociceptores se conectam com neurônios também mielinizados, e eles transmitem com rapidez a informação para o córtex somestésico. A região não é exatamente a mesma que recebe as projeções da via dorsal, o que garante que a percepção estabelecida seja de dor localizada (figura 57).

Ao mesmo tempo, os axônios desmielinizados seguem pela mesma via, contudo, com velocidade mais lenta de transmissão e estabelecendo muitas ramificações. Os ramos do neurônio secundário ativam neurônios do tronco encefálico relacionados com o alerta cortical, algo muito justificável em caso de algum dano ou problema no corpo (o que fez ativar o nociceptor). Enquanto as ramificações límbicas do terciário fornecem informações para a “construção” das emoções. Eles também chegam ao córtex somestésico, onde resulta na sensação de dor difusa (figura 57). Essas são respostas cogniti-

vas que também são utilizadas para organizar e permitir reações comportamentais, a partir de movimentos, p.ex.: dirigir a atenção para a região do corpo de origem da dor e investigar o ambiente para identificar a causa de um ferimento.

Efetivamente só há sensação e percepção de dor se os neurônios corticais forem estimulados pelos neurônios sensoriais terciários. Se houver alguma falha na transmissão sináptica entre o primeiro e o segundo ou entre o segundo e o terceiro, os neurônios corticais não serão ativados e, conseqüentemente, não haverá dor. Esta é a feliz possibilidade dos analgésicos! Do mesmo modo, as demais sensações (audição, olfação, gustação e visão) também precisam estimular seus respectivos neurônios corticais para que o fenômeno cognitivo ocorra. E aqui acrescentamos, também é preciso que o receptor sensorial seja capaz de gerar a despolarização no neurônio primário, caso contrário, a via nem é ativada.



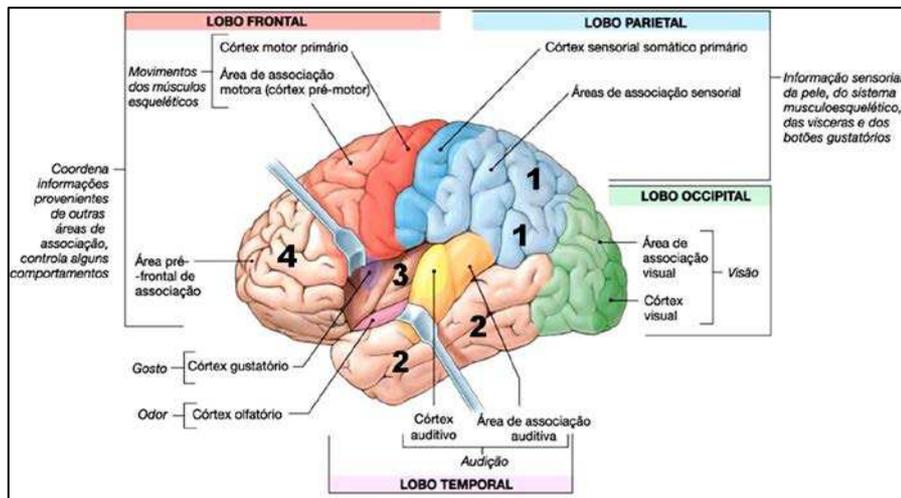
Fonte: da autora

Respostas Cognitivas e Respostas Comportamentais

Para “não misturar” os sentidos, a área cortical de cada sensibilidade é diferente. São denominadas de áreas sensoriais primárias, novamente, porque são as primeiras a receber a informação (figura 58). A informação que chega a esses neurônios é bastante simplificada e alguns autores consideram que o evento cognitivo ex-

pressado por essa região seria a sensação de sentir algo (“É um som”). As projeções desses neurônios são muito ramificadas, permitindo muitas sinapses (associações) com neurônios localizados na área imediatamente vizinha, a área sensorial secundária ou de associação sensorial (tátil, visual, auditiva, olfativa ou gustativa). Nesta, maior elaboração é possível e aí ocorre a percepção (“Sim, é um som. Alguém falando meu nome”) (figura 58).

Figura 58: Ilustração das divisões do córtex, associando as divisões neuroanatômicas: frontal, parietal, occipital e temporal, com as divisões funcionais: córtex primário, córtex secundário (ou de associação sensorial) e córtex de associação. Esta última divisão está indicada por números: 1- córtex de associação parieto-occipital; 2 – córtex de associação temporal; 3 – córtex de associação límbico (parte dele não está visível); 4 – córtex de associação frontal ou pré-frontal.



Fonte: adaptado de Silverthorn, 2010

Além das associações locais, os neurônios secundários também enviam prolongamentos para áreas da vizinhança e um pouco mais distantes: as áreas de associação terciárias ou simplesmente áreas de associação. Essas são áreas que literalmente “misturam” tudo! Elas recebem contatos sinápticos de todas as áreas secundárias e podem estabelecer percepções complexas que ne-

cessitam de informações de vários sensores. As áreas são grandes e estão situadas entre as demais regiões (figura 58).

De modo geral, a área associativa parieto-occipital (reunindo informações do lobo parietal e occipital) é responsável pela percepção de tempo e espaço que permite responder às questões: *onde estou? De que lado está o objeto? Quanto tempo o carro leva para chegar até a mim?* A área associativa temporal está relacionada à identificação dos objetos e pessoas no mundo: *o que é isto? Qual o nome daquela pessoa? Para que serve essa ferramenta?* Já a área associativa límbica envolve a emoção. Esta área é melhor visível pelo “meio” dos hemisférios. Através dela é possível associar tempo, espaço e coisas ao que elas representam afetivamente para a pessoa. O conceito de bom ou ruim não deve ser visto aqui com conteúdo moral e sim pelo viés fisiológico: *isto me dá prazer? Isto me chateia? Tenho medo dele?* A área límbica contém a região envolvida com o estabelecimento das memórias autobiográficas, o hipocampo.

Conforme pode ser identificado na figura 58, o lobo frontal contém a área associativa frontal ou o córtex pré-frontal (CPF). Mas, além dele são identificadas áreas motoras. Relembrando que o termo “motor” é referente a movimento. Todas as demais áreas associativas enviam projeções para o CPF. Com elas, o CPF pode direcionar a nossa atenção e planejar a realização de uma dada tarefa, acionando organizadamente as áreas que podem executar os planos (que juntos constituem a função executiva). Para isto, precisa ser capaz de manter informações temporariamente, sua função de memória operacional.

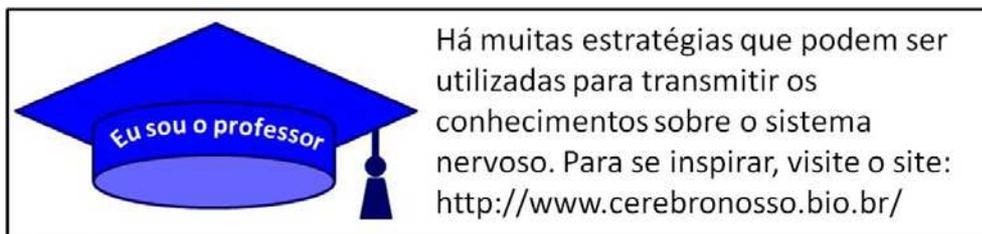
Destacamos que a sigla CPF “cai” perfeitamente para a ana-

logia com o nosso “cadastro de pessoa física”. O cadastro é único! O CPF “neural” também. Ele é uma região fundamental para a identidade de cada um de nós. Lesões no CPF podem provocar alterações da personalidade, conforme registros médicos. Isso ocorre porque o CPF mantém uma forte conexão com a área límbica, de tal modo que todo o planejamento ou elaboração perceptiva realizada pelos neurônios dessa área “traz” consigo o aspecto emocional e biográfico específico de cada pessoa. Por isso, somos únicos!

Para entender a função executiva do CPF, é importante esclarecer a ideia de planejamento. Use seu dedo indicador e suavemente toque na mesa. Observe que esse é um movimento simples que pode ser apresentado como “o comportamento de mover o dedo”. Mas, repita o movimento e olhe bem atentamente. Esse comportamento é composto de dois movimentos executados em etapas. Primeiro o dedo é levantado (movimento um) para, em seguida, ser jogado contra a mesa (movimento dois). Sem falar que isso foi feito apenas pela vontade de executar esse experimento – a mesa não “puxou” seu dedo. O plano motor aqui também é simples: movimento um, seguido imediatamente do movimento dois. O plano também traz a vantagem de poder ser modificado se as condições mudarem, p.ex.: tente fazer o mesmo movimento na superfície da água. Se a força empregada não for modificada, seu dedo irá mergulhar na água e não apenas tocá-la.

Nossa interação com o mundo é feita de milhares de comportamentos simples como o descrito acima, mas que estão organizados em conjunto, num plano ou sequência pré-estabelecida e são iniciados pela vontade. Por isso são movimentos voluntários. Essa é a diferença básica para movimentos reflexos. Já descrevemos os

reflexos do músculo liso do tubo digestório. A origem da contração é o estímulo de estiramento do próprio músculo. Ou seja, o movimento reflexo é desencadeado pelo estímulo e sempre seguirá o mesmo padrão. Alguns movimentos voluntários são tão repetidos, que viram “reflexos aprendidos”. Quem sabe tocar violão ou sabe dirigir automóvel lembra como tudo começou.



Fonte: da autora

Toda a “simplicidade” do comportamento de mover o dedo é “feita” de impulso nervoso. Do mesmo modo que seguimos um “caminho” da transmissão do impulso nervoso desde a captação sensorial até o estabelecimento da sensibilidade na percepção, a realização do movimento voluntário também segue um caminho, a via motora que começa no CPF. No momento em que “surge” a necessidade ou vontade de realizar algum comportamento, as áreas de planejamento do CPF “avaliam” as informações sobre as condições da execução usando informações sensoriais – “a superfície que o dedo irá bater é a mesa”, informação vinda do sistema visual. Então a “dureza” da mesa fará parte dos requisitos para o plano motor. Observe: você ainda não tocou na mesa, mas “sabe” que ela é dura pela experiência, ou seja, sua memória. Essa é a informação que o CPF tem acesso.

O plano motor é enviado para as áreas pré-motoras – estas são áreas associativas, porque reúnem várias informações vindas do

CPF. As áreas pré-motoras possuem um “mapa” dos músculos do nosso corpo e, de posse do plano vindo do CPF, ela poderá verificar quais grupos musculares precisarão ser ativados. A ativação dos músculos começa na região cortical denominada córtex motor primário (reveja a figura 58). Atenção: primário aqui pode confundir, já que ela é a última do córtex antes da ativação dos músculos. Mas ela se refere à condição encontrada também no córtex sensorial primário: toda a informação (o plano motor) estará fragmentada, como se cada conjunto de neurônios carregasse uma peça de um quebra-cabeça.

Essa analogia parece ser interessante. Na sensibilidade, os receptores sensoriais captam uma peça do quebra-cabeça. Várias peças chegam ao córtex primário e são enviadas para montagem no córtex secundário. A imagem final será possibilitada pela reunião das várias partes montadas em cada sistema sensorial na área associativa. Na motricidade, CPF cria quebra-cabeças de movimentos. Cada peça é correspondente a um músculo a ser ativado. A área pré-motora irá separar as peças de acordo com a ordem e local onde estão os músculos.

No exemplo do dedo, o quebra-cabeça envolve os músculos do braço, do antebraço, do pulso, dos demais dedos da mão e, em especial, os músculos do dedo alvo. O córtex pré-motor separa os demais e se focaliza nos músculos do dedo alvo, ativando no córtex motor primário apenas esses endereços, na ordem de ativação. Isso é possível porque, semelhante ao córtex sensorial primário, o motor primário também mantém uma organização somatotópica. Os neurônios que têm relação com os músculos dos pés estão ao lado daqueles da perna. Estes têm ao seu lado os neurônios relacionados

aos músculos da coxa e por aí vai – um homúnculo motor.

O homúnculo significa pequeno homem e é a representação distorcida de nosso corpo no cérebro, do ponto de vista sensorial e motor (figura 59). A distorção é referente à “necessidade” que cada área do nosso corpo tem em relação à sensibilidade ou à motricidade. É representacional porque sabemos que nossas mãos não são maiores que o resto do corpo, como aparece nos desenhos (figura 59). Mas, tanto em sensibilidade quanto em motricidade, nossas mãos têm muito mais neurônios dedicados a ela do que nosso tronco. Isto parece lógico, não? Quantos movimentos diferentes nós podemos fazer com os dedos? E com os músculos das costas? Em relação à sensibilidade, somos capazes de reconhecer um fino cabelo da pestana no nosso lábio, mas localizamos muito mal a região que está “coçando” nas costas.

Figura 59: Foto de esculturas que representam o homúnculo sensorial, à esquerda, e o homúnculo motor, à direita.



Fonte: <http://qga.com.br/ciencia/medicina/2014/01/descubra-como-o-cerebro-ve-o-nosso-proprio-corpo-2>

Observa-se também que o homúnculo motor não representa exatamente os músculos esqueléticos do corpo (por isso a diferença de tamanho real para o representado). Na verdade, a representação

é da quantidade de unidades motoras em cada uma dessas regiões. Essa unidade é formada por um neurônio motor da medula ou do tronco encefálico e as fibras que ele controla. Os neurônios situados no córtex motor primário se comunicam com esses neurônios para promover o movimento. Vamos entender o porquê, começando na compreensão de como ocorre a contração.

Músculos e Reflexos Espinhais

Praticamente em todos os capítulos desse livro, descrevemos algo sobre músculo. Nessa oportunidade, vamos tentar sistematizar os conhecimentos já abordados e descrever o músculo esquelético para possibilitar a compreensão do movimento voluntário.

O músculo é uma estrutura formada por células que se contraem, ou seja, encurtam seu tamanho e, com isso, promovem o movimento. Quando o músculo liso intestinal se contrai, ele reduz o tamanho da luz no tubo digestório e isso espreme e move o conteúdo. A contração do músculo cardíaco reduz o espaço nas câmaras fazendo o sangue se mover. O músculo esquelético faz o corpo se mover. Isso é possível por causa do arranjo entre músculo, esqueleto e articulação. Em várias partes, esse arranjo é formado por um músculo agonista e outro antagonista. Isto é, um músculo promove um movimento (o agonista) que é oposto ao movimento de outro músculo (antagonista) (figura 60).

Além do arranjo em relação ao esqueleto, a organização das fibras musculares dentro do músculo é fundamental para que a contração alcance o movimento desejado. Observe na figura 60 que o braço pode ser flexionado porque o músculo é um conjunto de feixes

de fibras organizadas em paralelo na longitudinal. Cada fibra muscular esquelética é uma célula longa (podendo chegar até 12 cm ou mais) com muitos núcleos e, vista ao microscópio, com muitas estrias. Dessas estrias vem o nome músculo estriado. O miocárdio também é um músculo estriado, vemos adiante (figura 61). Essas estrias representam a organização molecular da fibra, o verdadeiro segredo da contração.

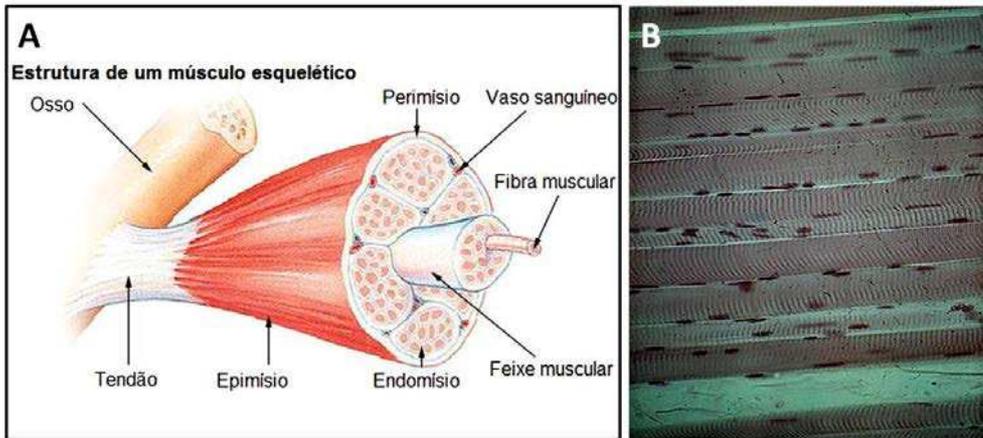
Figura 60: Ilustração da contração dos músculos esqueléticos do braço (bíceps e tríceps). Na imagem da esquerda, o bíceps está contraído e seu tendão puxa o osso rádio do antebraço em direção ao braço (movimento de flexão do braço), ao mesmo tempo, o tríceps está relaxado. Na imagem da direita, o tríceps está contraído e puxa o osso ulna do antebraço, promovendo a extensão do braço, enquanto o bíceps está relaxado.



Fonte: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/triceps.html>

As estrias da fibra muscular refletem a organização da miofibrilas, o conjunto dos filamentos contráteis ou miofilamentos da célula. As miofibrilas são formadas por dois tipos principais de filamentos: a actina (fino) e a miosina (grosso). A unidade de organização entre a actina e a miosina é o sarcômero (figura 62).

Figura 61: Em A, ilustração da estrutura de um músculo esquelético em feixes de fibras; em B, fotomicrografia evidenciando as estrias desse tipo de músculo.



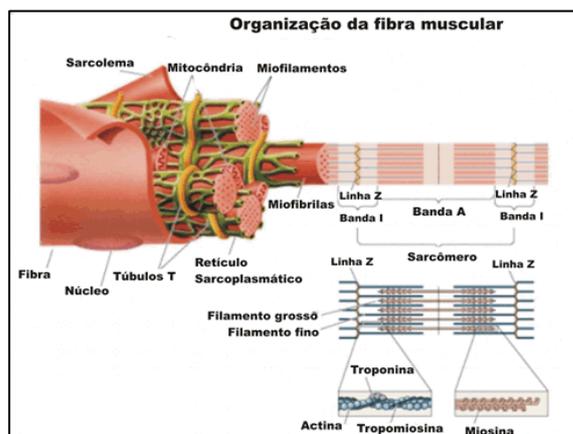
Fonte: A- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Distens%C3%A3o>; B- http://escuela.med.puc.cl/paginas/cursos/segundo/histologia/histologiaweb/paginas/fotosBig/M4_1.html

Então, a cada duas estrias, há um sarcômero (reveja a figura 61 e compare com a 62). As estrias são os limites, denominados de linhas Z. Observe que cada fibra possui milhares de sarcômeros. Durante a contração, a distância entre as linhas Z diminui. E diminui em todos os sarcômeros de todas as miofibrilas da fibra. Na liberdade da analogia, o sarcômero funciona como uma sanfona. No estado relaxado da fibra, ele está aberto. Quando a fibra se contrai, o sarcômero fecha. Na verdade, esta última frase é o inverso: quando o sarcômero se fecha, o músculo se contrai! Parece um detalhe mais não é. A relação causal é diferente. O sarcômero causa a contração.

Cada linha Z “prende” várias actinas (filamento fino) dispostas em paralelo. No meio, entre duas actinas, fica uma miosina (filamento grosso) (figura 62). A mágica é uma reação química que irá ocorrer entre esses dois filamentos. Vamos imaginar que a miosina é um “ser inexistente” que possui quatro braços. Com cada dois bra-

ços ela irá “puxar” um filamento de actina do seu entorno. Puxar é uma boa analogia, porque, p.ex., quando puxamos uma corda, seguramos em um ponto; puxamos; soltamos e seguramos em outro ponto adiante, para puxar novamente. É basicamente isso que cada miosina faz com os quatro filamentos de actina do seu entorno, puxa-os em direção a ela. Uma vez que a actina está presa a linha Z, esta vem junto e aproxima o sarcômero.

Figura 62: Ilustração da organização da fibra muscular, suas miofibrilas com os miofilamentos de actina (fino) e miosina (grosso). Em destaque a organização dos miofilamentos em sarcômero, delimitado pela linha Z. Observe as estruturas no entorno das miofibrilas: o retículo sarcoplasmático (em verde) e os túbulos T (em amarelo) – não é evidente na figura, mas esses túbulos são ligados ao sarcolema.



Fonte: http://www.sobiologia.com.br/figuras/Histologia/Fibras_musculares2.jpg

O processo químico que permite a miosina puxar, soltar, puxar, é baseado no gasto de ATP e na afinidade que essa molécula tem pela actina (atração química para se ligar a ela) – tecnicamente, significa: a capacidade de formar pontes cruzadas. Apesar da afinidade, actina e miosina só podem se ligar na presença de cálcio. Isto porque o local em que a miosina pode “segurar” na actina é bloqueado. Com cálcio no citoplasma, esse bloqueio é desfeito. Então, tendo cálcio, a miosina segura na actina e puxa ela para o centro do

sarcômero. Mas é “tanta” afinidade que será preciso gastar uma molécula de ATP para desfazer essa ligação. Ao soltar o ponto em que estava segurada na actina, a miosina já se dirige para o próximo ponto de afinidade e, se o cálcio permanecer no citoplasma, a miosina novamente irá segurar a actina e puxá-la.

O segredo então está revelado. A miosina puxa a actina gastando ATP (a contração gasta energia!), caso exista cálcio no citoplasma. As fibras musculares sempre guardam algum ATP, mas quando uma contração tem início, é fundamental o aporte de sangue com nutrientes e oxigênio para produzir mais ATP. Mas, de onde vem o cálcio? Esse foi o “truque” do sistema nervoso. Ele passou a controlar um depósito de cálcio dentro da fibra muscular esquelética, de tal modo que só há contração com a autorização dele.

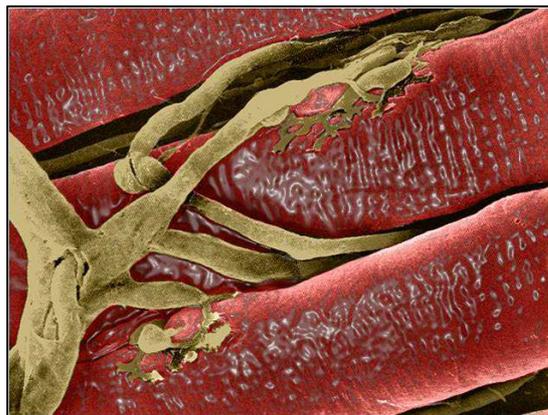
O cálcio utilizado na contração está no retículo sarcoplasmático da fibra. Mas ele só sai de lá com a abertura de portas – sempre precisamos abrir portas, não é?! Quando há “autorização” da contração, o cálcio é rapidamente jogado no citoplasma. É importante ter em mente que o cálcio, assim que sai, já é continuamente trazido de volta para o depósito por mecanismos moleculares da membrana do retículo. Então, para manter a contração, é preciso manter a “autorização” que manterá as portas do cálcio abertas. Essa “autorização” se dá através da liberação de neurotransmissores por parte de terminais de neurônios motores.

Os terminais dos neurônios formam uma sinapse especial com a fibra muscular esquelética chamada de placa motora (figura 63). Quando o neurônio é ativado (surge impulso nervoso nele), os neurotransmissores são liberados para a fenda e alcançam recepto-

res na membrana da fibra (semelhante à sinapse neural). Eles vão funcionar como a chave dos canais iônicos dando início à despolarização. Tal qual o neurônio, essa despolarização é contaminante e se espalha pela membrana da fibra (o sarcolema), inclusive os túbulos T que adentram a célula no entorno do retículo sarcoplasmático. Quando a despolarização chega nesses túbulos, através de estruturas moleculares, eles abrem as portas para o cálcio sair (veja a figura 62).

Resumindo: impulso nervoso, neurotransmissor, despolarização do sarcolema, despolarização dos túbulos T, abertura das portas do cálcio, liberação da ligação actina-miosina, miosina puxa a actina, o que se repete várias vezes enquanto tiver ATP e cálcio no citoplasma – no caso do cálcio, enquanto houver impulso chegando à placa motora e liberando neurotransmissor.

Figura 63: Fotomicrografia de um terminal de neurônio motor (em cor clara) sobre fibras musculares esqueléticas, formando a placa motora.



Fonte: <http://neuromed91.blogspot.com.br/2010/08/miastenia-gravis.html>

Os terminais que formam a placa motora pertencem aos axônios dos neurônios motores. Todas as fibras de todos os múscu-

los esqueléticos possuem um terminal de neurônio motor ligado a ela. Do mesmo modo que os neurônios sensoriais, os terminais motores são amplamente ramificados. Dessa forma, um neurônio pode controlar poucas ou muitas fibras de um mesmo músculo. Conforme descrevemos anteriormente, o conjunto do neurônio e suas fibras musculares é a unidade motora.

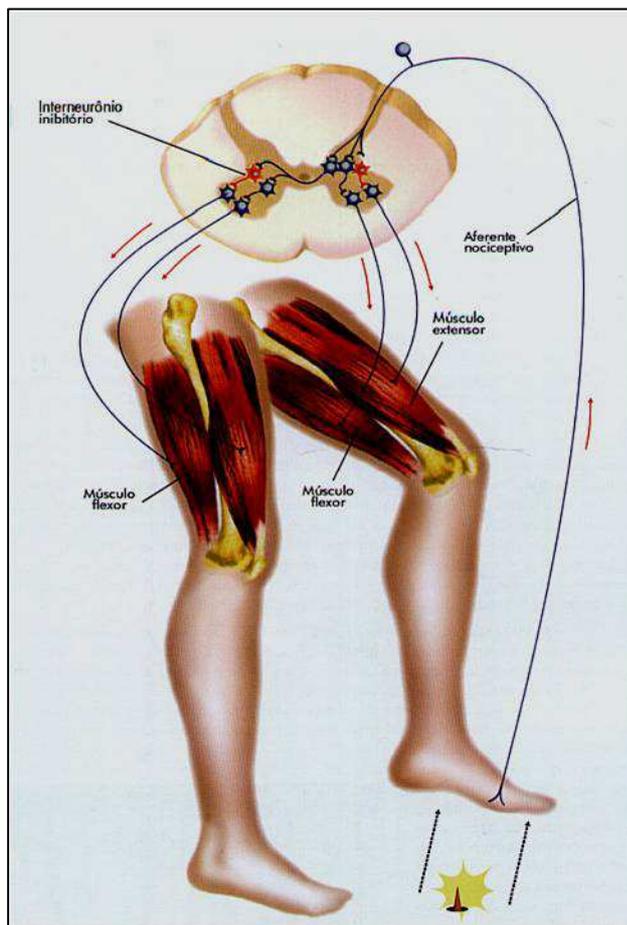
Os corpos dos neurônios motores estão no corno ventral da medula ou em núcleos dos nervos cranianos do tronco encefálico. No caso dos medulares, axônios saem pela raiz ventral para formar o nervo espinhal, junto com os aferentes sensoriais (atenção: estes estão entrando na medula) (veja a figura 38 e a 56). Os axônios que formam unidades motoras dos músculos da face são conduzidos pelos nervos cranianos. Para ativar o músculo esquelético, é preciso ativar os neurônios motores.

Os reflexos medulares ou espinhais são respostas imediatas produzidas por informações sensoriais que chegam até a medula e ativam neurônios associativos ligados aos neurônios motores. Então, o caminho ou a via reflexa começa com algum estímulo; segue pelo axônio aferente que faz sinapse com neurônios associativos; estes ativam o neurônio motor que libera neurotransmissores sobre as fibras musculares que ele comanda, iniciando a contração.

Vamos utilizar o exemplo do reflexo protetor desencadeado pelo nociceptor. Conforme descrito na via da sensibilidade nociceptiva, o neurônio sensorial primário estabelece sinapse na substância gelatinosa da medula com seu neurônio secundário que irá levar a informação para o encéfalo. Mas ele também realiza sinapse com vários neurônios associativos (figura 64): um deles ativa o neurônio

motor do músculo flexor da perna do pé afetado – retirando o pé do local; o outro inibe o neurônio que comanda o músculo antagonista; um terceiro cruza a linha média da medula e faz contato com outros neurônios associativos: um que ativa o neurônio motor do músculo extensor da perna contralateral e o outro que inibe o músculo flexor da perna contralateral. Esses últimos contatos permitem que a pessoa retire o pé e mantenha o corpo equilibrado na outra perna.

Figura 64: Ilustração dos neurônios que participam do reflexo protetor desencadeado por dano ao pé. Observar que a quantidade de neurônios é apenas ilustrativa (há centenas de neurônios na região ocupada no desenho por quatro). Os neurônios em vermelho são inibitórios; interneurônio é o mesmo que neurônio associativo. Veja os detalhes no texto.



Um simples levantar de pé envolve todos esses contatos sinápticos e vários conjuntos musculares. Agora observe: por vontade, você pode levantar a perna exatamente do mesmo jeito. Se quiser, você pode alternar: levantar uma e, na sequência, abaixá-la e levantar a perna contralateral (como numa marcha). O circuito será o mesmo! A diferença é a origem da ativação dos neurônios motores.

Conforme descrito no tópico anterior, o movimento voluntário exige um planejamento que começa no CPF, segue para áreas pré-motoras que então acionam neurônios no córtex motor primário. Acrescentamos que as áreas pré-motoras enviam uma cópia do planejamento do movimento para o cerebelo e para os núcleos da base. Essas estruturas farão o acompanhamento do movimento e podem “sugerir” alterações ou ajustes para as áreas de planejamento no córtex.

Os neurônios do córtex motor primário enviam seus axônios em direção à medula, formando a via motora. Os axônios “descem” do córtex até o bulbo pelo mesmo lado do hemisfério que se originaram. No bulbo, eles crizam a linha média e seguem na medula pela região lateral da substância branca, o trato corticoespinal lateral. A medida que alcançam seus destinos, os axônios vão entrando na substância cinzenta para acionar os neurônios associativos das unidades motoras que interessam ao movimento desejado.

Com a descrição da via motora, pode-se concluir que a sensibilidade e a motricidade de cada metade do corpo são controladas por hemisférios cerebrais contralaterais. É por isso que, quando uma pessoa tem um AVC, p.ex., no hemisfério esquerdo, o prejuízo ocorrerá na metade direita do corpo.

Para aproveitar o momento, indicamos anteriormente que o músculo cardíaco também é um músculo estriado. Suas miofibrilas também estão organizadas em sarcômeros semelhantes ao músculo esquelético. Há uma importante diferença no aspecto da disponibilidade de cálcio. Embora exista retículo sarcoplasmático nas fibras do miocárdio, essa organela é pequena e o cálcio também é retirado do meio interno. Isso combina com o fato da autonomia desse músculo devido à ritmicidade, ou seja, não há como o sistema nervoso controlar a contração. Por outro lado, se a disponibilidade de cálcio no citoplasma é variável, a quantidade de pontes cruzadas formadas por vez também irá variar. Disto, a contração cardíaca pode ser mais ou menos forte. Na descrição do reflexo ortostático, vimos que o sistema simpático produz aumento da força da contração. Justamente, porque a noradrenalina simpática abre portas de cálcio na membrana de fibra do miocárdio. No músculo esquelético, mais ou menos força é obtida por aumentar a quantidade de unidades motoras ativadas e também a quantidade de músculos participantes de um movimento.

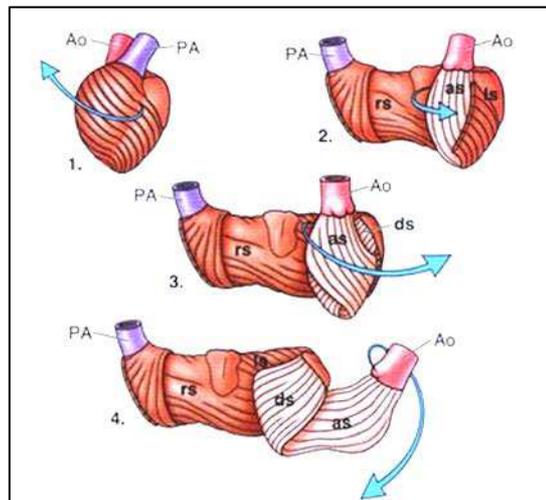
Outro aspecto digno de nota é a organização das fibras no miocárdio. Embora seja um órgão com câmaras, todo ele é formado por uma única “faixa” muscular (figura 65). Essa faixa se enrola sobre si mesma (ao longo do desenvolvimento embrionário). Desse modo, o encurtamento das fibras irá promover diferentes efeitos em cada uma das câmaras. P.ex., ao se contrair, a área “as” encurta no sentido vertical, enquanto a “rs”, no sentido horizontal. O resultado é que o músculo se “espreme” reduzindo o espaço do interior, o que aumenta a pressão nesse espaço e faz o sangue se mover.

Já o músculo liso recebe esse nome por não apresentar es-

trias. Os miofilamentos se ligam a estruturas denominadas de corpos densos e estão dispostos em diagonal. A contração aproxima os corpos densos e a célula fica mais globosa (figura 66). A ativação da contração também depende de ATP e cálcio, mas o músculo liso tem variações importantes.

Um tipo, que já apresentamos no tubo digestório, é o músculo liso unitário. Ele funciona como o miocárdio, com células unidas por junções comunicantes e também apresentando ritmicidade. Outro tipo é o músculo liso multiunitário, no qual cada célula é independente, como as fibras musculares esqueléticas. Esse é o tipo do músculo da íris, do aparelho reprodutor masculino e do útero.

Figura 65: Ilustração esquemática da estrutura do coração, quando o feixe único do miocárdio é desenrolado (item 1 a 4). Ao – aorte; PA – artéria pulmonar; as siglas rs, as, is e ds representam regiões do feixe que permitem acompanhar o “desenrolar”, observando onde a área estava no coração originalmente.

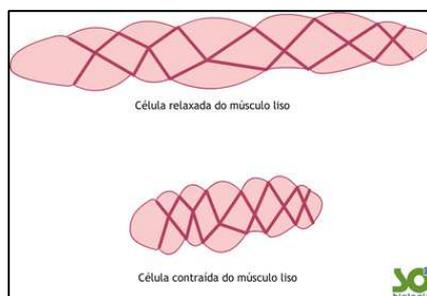


Fonte: http://www.escolauniceo.com.br/conteudo_esquinacientifica1.asp

A bexiga urinária é formada por músculo liso unitário, porém ele não tem ritmicidade, sendo completamente controlado pela via nervosa. O controle desse órgão é um excelente exemplo do contro-

le dos circuitos medulares pelo encéfalo.

Figura 66: Ilustração da contração de um músculo liso. As linhas representam as miofibrilas.



Fonte: http://www.sobiologia.com.br/figuras/Histologia/musculo_liso2.jpg

Controle da Micção e Sistema Urinário

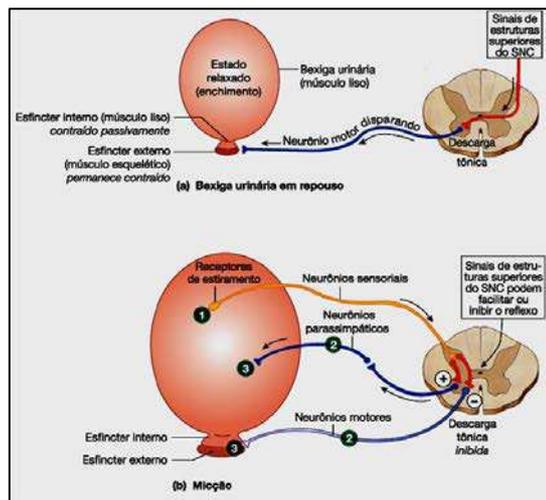
A bexiga é um órgão que armazena a urina um dos caminhos fundamentais para a excreção de resíduos nos animais. Contudo, controlar a liberação da urina na micção foi importante para muitos animais. A urina é formada por água, substâncias que estão em excesso no corpo e resíduos metabólicos como a ureia e o ácido úrico. Ao eliminar esse resíduo no ambiente, o animal dá uma informação importante para outros, p.ex., sua presença na região. Alguns mamíferos usam a urina para “marcar território” como os cães e gatos. Contudo, em outros casos, a urina pode alertar ao predador a presença da presa. Disto a fundamental importância do controle desse comportamento.

Nos seres humanos, a bexiga está situada no ventre e é controlada reflexamente pelos nervos simpáticos, parassimpáticos e motores da região da medula sacral. Sua comunicação com o meio externo se dá pelo canal da uretra. Na ligação entre bexiga e uretra há dois anéis musculares (esfíncteres). Um interno, de músculo liso,

e outro externo, de músculo esquelético. Esses esfíncteres estão no alvo da micção.

Quando a bexiga está vazia, neurônios simpáticos atuam sobre o esfíncter de músculo liso ativando sua contração, o mesmo ocorrendo para o esfíncter de músculo esquelético, comandado pelo neurônio motor medular. Nas paredes da bexiga, existem mecanorreceptores que reagem ao estiramento da parede. Esses neurônios sensoriais enviam informação para a medula. Na medula, encontramos o circuito de controle desses esfíncteres (figura 67).

Figura 67: Ilustração do circuito de controle da micção. Veja detalhes no texto.



Fonte: Silverthorn, 2010

Quando a bexiga enche, o mecanorreceptor ativa neurônios associativos excitatórios que se ligam a via parassimpática, cujos neurônios ganglionares promovem a contração do músculo liso da bexiga. Simultaneamente, ele também ativa neurônios associativos inibitórios que estão ligados aos neurônios simpáticos do esfíncter liso e aos motores, do esfíncter esquelético. Então, a resposta é con-

trair a bexiga, relaxando os esfíncteres, permitindo a micção (figura 67-B).

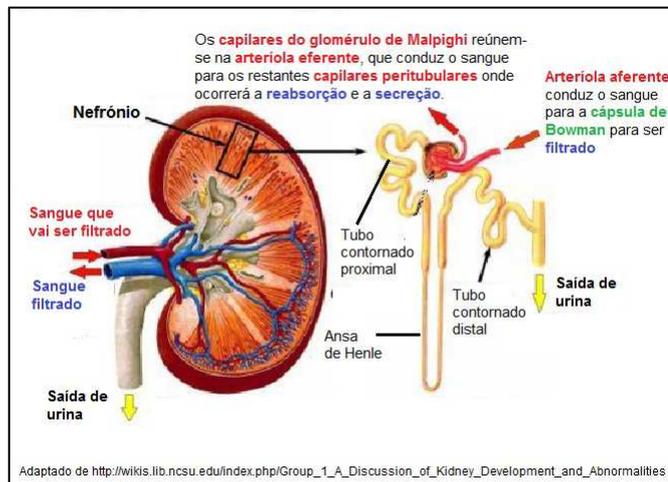
Este é o padrão encontrado nas crianças e em pessoas que possuem lesão medular. A bexiga enche e esvazia por reflexo. Contudo, existe um grupo de neurônios no tronco encefálico que constituem o centro de controle urinário. Eles emitem axônios que descem pela medula até a região do circuito medular (figura 67-A) onde promovem o controle do circuito. Esses axônios interferem diretamente no neurônio motor do esfíncter esquelético, produzindo sua ativação tônica. Essa ativação se sobrepõe, quando é importante, à inibição reflexa, devido ao enchimento da bexiga, refletindo o comando hierárquico das funções no sistema nervoso.

Cabe apresentar a formação da urina a partir do sistema renal. No ser humano, os rins, órgãos duplos situados na região abdominal superior, são estruturas filtradoras do sangue. Eles estão ligados à bexiga urinária através dos ureteres. O rim é um aglomerado de milhares de unidades filtradoras, o néfron (figura 68). Cada nefrón deve receber sangue para poder realizar sua função, filtrar os resíduos. Por isso, o rim é uma estrutura altamente vascularizada. A artéria renal se ramifica milhares de vezes até chegar aos microscópicos capilares que interagem com o néfron.

O néfron é um tubo (ou seja, tem uma luz). Ele começa numa estrutura alargada em forma de taça, a cápsula de Bowman. Uma arteríola aferente se ramifica para dentro dessa taça, formando uma rede de capilares denominada de glomérulo de Malpighi. Essa rede finda com a saída da arteríola eferente. Atenção: são duas arteríolas, ou seja, um sistema especial de capilar. O tubo renal se con-

tinua da cápsula de Bowman para regiões mais estreitas e contorcidas – o tubo contorcido proximal, a alça de Henle e o tubo contorcido distal. Este último se comunica com ductos de saída da urina, que será recolhida pelos ureteres.

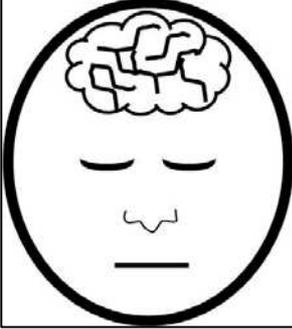
Figura 68: Ilustração da estrutura macroscópica de um rim, em destaque sua unidade funcional: o néfron (nefrónio). Observe o formato dos tubos do néfron.



Fonte: <http://fisiologiarenalhumana.blogspot.com.br/>

Quando o sangue chega ao glomérulo, a força da pressão sanguínea promove a filtração, com a saída de grande quantidade de líquido para dentro da cápsula de Bowman. Este é o filtrado, o líquido que irá percorrer todo o tubo renal. A filtração é a primeira etapa da formação da urina. No filtrado estão presentes os resíduos metabólicos e também nutrientes e, principalmente, água. A arteriola eferente que sai do glomérulo, irá se enrolar aos tubos renais, formando capilares peritubulares. Estes irão receber de volta nutrientes que não estiverem em excesso e a água, processo denominado de reabsorção. No final do túbulo distal, todo o processo de reabsorção já foi concluído e o líquido enviado ao ducto coletor já é urina.

**exercite
sua mente**



De que modo sentimos o mundo?

O que significa cognição, do ponto de vista do sistema nervoso?

Por que o movimento voluntário precisa ser planejado?

Qual a relação entre a hierarquia de comando sistema nervoso e as paralisias por acidentes medulares?

Por que é importante controlar a micção?

6. REPRODUÇÃO

Após as abordagens a respeito dos sistemas fisiológicos que mantêm a homeostase, incluindo através da realização de comportamentos, chegamos ao aspecto reprodutivo, o qual não se relaciona diretamente com homeostase.

Nos animais com reprodução sexuada, geralmente a fêmea produz um ou poucos gametas, enquanto machos produzem muitos pequenos gametas. Essa diferença tem efeito direto sobre o comportamento reprodutivo de cada animal. Aqui, nosso interesse é compreender como esses gametas são formados e que estruturas permitem a fecundação. Vamos olhar esses aspectos no ser humano.

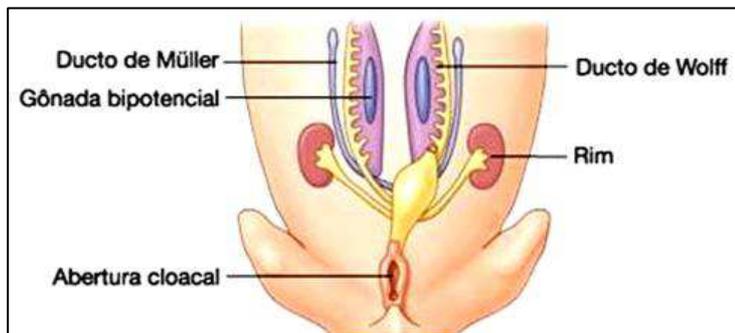
Diferenciação Sexual Humana

Geneticamente, os gametas femininos só carregam cromossomo sexual do tipo X, enquanto os masculinos podem carregar o cromossomo X ou o Y. Dessa forma, a produção de um embrião masculino depende do encontro de um espermatozoide Y com o óvulo. O contrário produz um embrião feminino.

Além da diferenciação genética, os sexos se diferenciam pelos seus órgãos internos, que inclui as gônadas e estruturas auxiliares, pela estrutura externa, que inclui a genitália e os caracteres sexuais secundários. No embrião, até a sexta semana de gestação, o desenvolvimento dos órgãos internos é indiferenciado. Há uma gônada bipotencial formada por duas estruturas: os ductos de Muller e os ductos de Wolff. A presença ou não do cromossomo Y irá en-

caminhar o restante do desenvolvimento dessas estruturas (figura 69).

Figura 69: Ilustração da gônada bipotencial do embrião na sexta semana.



Fonte: adaptado de Silverthorn, 2010

O cromossomo X é bem maior do que o Y e ele carrega os genes para a formação do corpo. O gene Y traz poucos conjuntos gênicos, mas fundamentais na diferenciação sexual. A região gênica SRY contém genes que produzem uma proteína de mesmo nome, SRY. Essa proteína irá atuar sobre os ductos de Wolff induzindo sua diferenciação em testículo. Com o testículo formado, terá início a produção de testosterona que tem a função de desenvolver os ductos de Wolff na genitália interna e externa masculina. Também será produzido o hormônio antimuleriano, fundamental para impedir o desenvolvimento dos ductos de Muller.

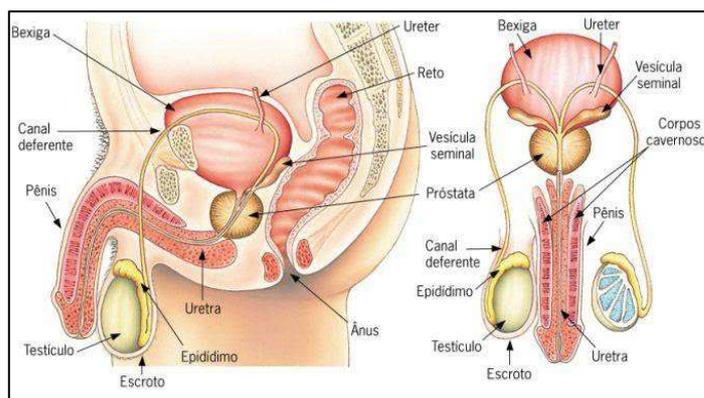
O embrião seguirá o desenvolvimento feminino caso o cromossomo Y não esteja presente. Entretanto, caso ele esteja, mas sua a região SRY não funcione ou não consiga transcrever a proteína SRY, também haverá desenvolvimento feminino, com complicações de fertilidade futura. No embrião XX, ou os casos acima, os ductos de Muller seguem seu desenvolvimento, diferenciando suas

regiões na genitália interna e externa feminina. Sem a testosterona, os ductos de Wolf degeneram.

Sistema Reprodutor Masculino

A genitália externa masculina é formada pelo pênis e testículos (o qual também é a gônada). Internamente, o testículo é uma cápsula ovoide formado por milhares de túbulos seminíferos, o local da produção dos espermatozoides (o gameta masculino) e também do hormônio testosterona. Fora da cápsula ovoide, os túbulos seminíferos se continuam em uma massa chamada epidídimo, região de maturação dos espermatozoides. O epidídimo se continua no longo ducto ou canal deferente que irá levar o esperma com os espermatozoides para a uretra. No caminho, na região ventral, o ducto deferente se comunica com as vesículas seminais, a próstata e as glândulas bulboretais. Todas são estruturas acessórias que produzem substâncias que serão acrescentadas ao esperma (figura 70).

Figura 70: Ilustração do sistema reprodutor masculino. Observe na figura à direita o detalhe do interior do testículo representando os túbulos seminíferos.

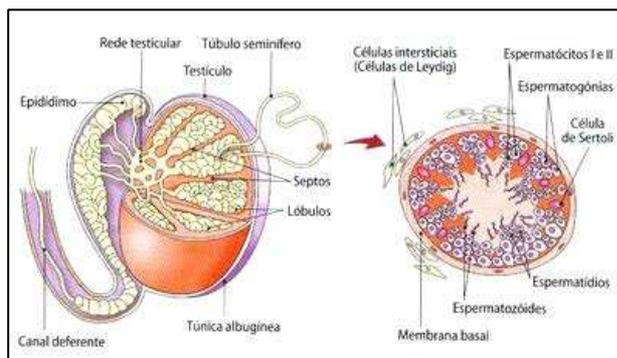


Fonte: <https://cienciasnamosca.wordpress.com/2012/04/10/sistema-reprodutor-masculino/>

Os canais deferentes, esquerdo e direito, se unem na proximidade da próstata e se comunicam com a uretra após o esfíncter uretral. Embora a uretra seja um canal comum ao sistema urinário e reprodutor, durante a ejaculação (a liberação do espermatozoide) não há saída de urina e nem ejaculação durante a micção. Ou seja, os processos são independentes.

As paredes dos túbulos seminíferos são formadas pelas células de Sertoli unidas por junções de oclusão. Essas células carregam as células germinativas em diferentes estágios de maturação. Na luz do tubo, os espermatozoides ainda não completamente formados estão ligados a esta célula. No entorno das células de Sertoli, estão as células de Leydig, produtoras de testosterona. Esse hormônio atua sobre a célula de Sertoli para a maturação dos espermatócitos (figura 71). A medida que os espermatozoides amadurecem, eles se soltam das células de Sertoli e são impulsionados por fluxo de difusão para o epidídimo.

Figura 71: Ilustração da estrutura do testículo. Observe na imagem à direita as células de Leydig e as de Sertoli.



Fonte: <http://biogeoambiente.wikispaces.com/Reprodu%C3%A7%C3%A3o+humana>

A produção do hormônio testosterona sofre modulação pelo eixo hipotálamo-hipófise. Existe um padrão rítmico de liberação das gonadotrofinas (LH e FSH), refletindo no padrão de liberação da testosterona. Esse hormônio será responsável pelo desenvolvimento dos caracteres sexuais secundários no adulto, como pêlos, barba, mudança da voz e desenvolvimento muscular. Neste último caso, caracteriza o efeito anabolizante desse hormônio esteroide. Ele atua diretamente nas células musculares esqueléticas promovendo a síntese de miofibrilas, resultando em efeito de crescimento muscular.

Do ponto de vista reprodutivo, o comportamento sexual masculino visa o coito ou relação sexual. Através dela, o gameta masculino pode alcançar o óvulo. Para isto, faz-se necessário a ereção. O enrijecimento do pênis favorece sua passagem pela genitália feminina. Sinais sensoriais ou psíquicos promovem a ereção que é controlada a partir de neurônios simpáticos e parassimpáticos que estão na medula – e das influências que estes recebem dos centros superiores. Mecanorreceptores da pele do pênis ativam o circuito medular, promovendo vasodilatação nos corpos cavernosos. É o preenchimento do sangue nessa região que enrijece o órgão. Mas esse efeito também pode ser obtido por sinais de diferentes modalidades, incluindo os psíquicos, e que terminam por ativar vias descendentes na medula que agem sobre o circuito da vasodilatação.

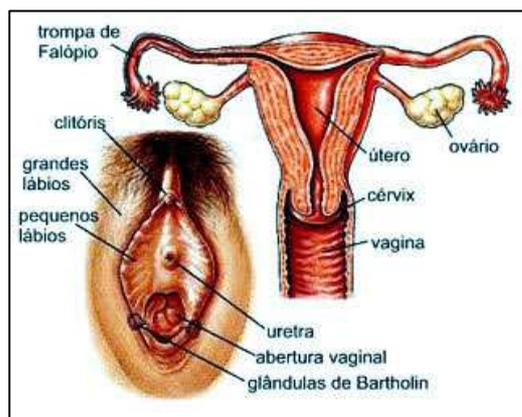
A intensificação desses sinais gera um clímax que resulta em ativação de mais circuitos medulares que resultam na emissão, o surgimento da peristalse nos ductos deferentes empurrando o esperma para a uretra e ejaculação, a peristalse na uretra com liberação do esperma. A ejaculação é compreendida como orgasmo masculino. Após ela, ocorre a remissão, a reclusão da glândula e a perda

da ereção. Para ocorrer uma nova ereção, há um período refratário que varia entre os homens, mas que aumenta com a idade. Fora do trato reprodutor, os espermatozoides vivem entre 48 a 72 horas.

Sistema Reprodutor Feminino

Nas mulheres, há marcada separação entre a genitália externa e a genitália interna. Externamente, os grandes lábios recobrem os pequenos lábios, que acomodam em seu interior a saída da uretra e a abertura vaginal. Acima dos pequenos lábios está o clitóris. A genitália interna é constituída pela vagina, o cérvix, o útero, as tubas uterinas ou trompas de Falópio e o ovário.

Figura 72: Ilustração da genitália externa e interna feminina.



Fonte: <http://www.brasilecola.com/biologia/sistema-reprodutor-feminino.htm>

O ovário produz o óvulo e também hormônios através de seu ciclo ovariano. Esse ciclo terá efeito sobre o útero, resultando no ciclo menstrual. O ciclo ovariano dura aproximadamente 28 dias e é influenciado pelos hormônios hipofisários (LH e FSH). O ovário contém os folículos primários, as células germinativas femininas, que amadurecem para formar o óvulo.

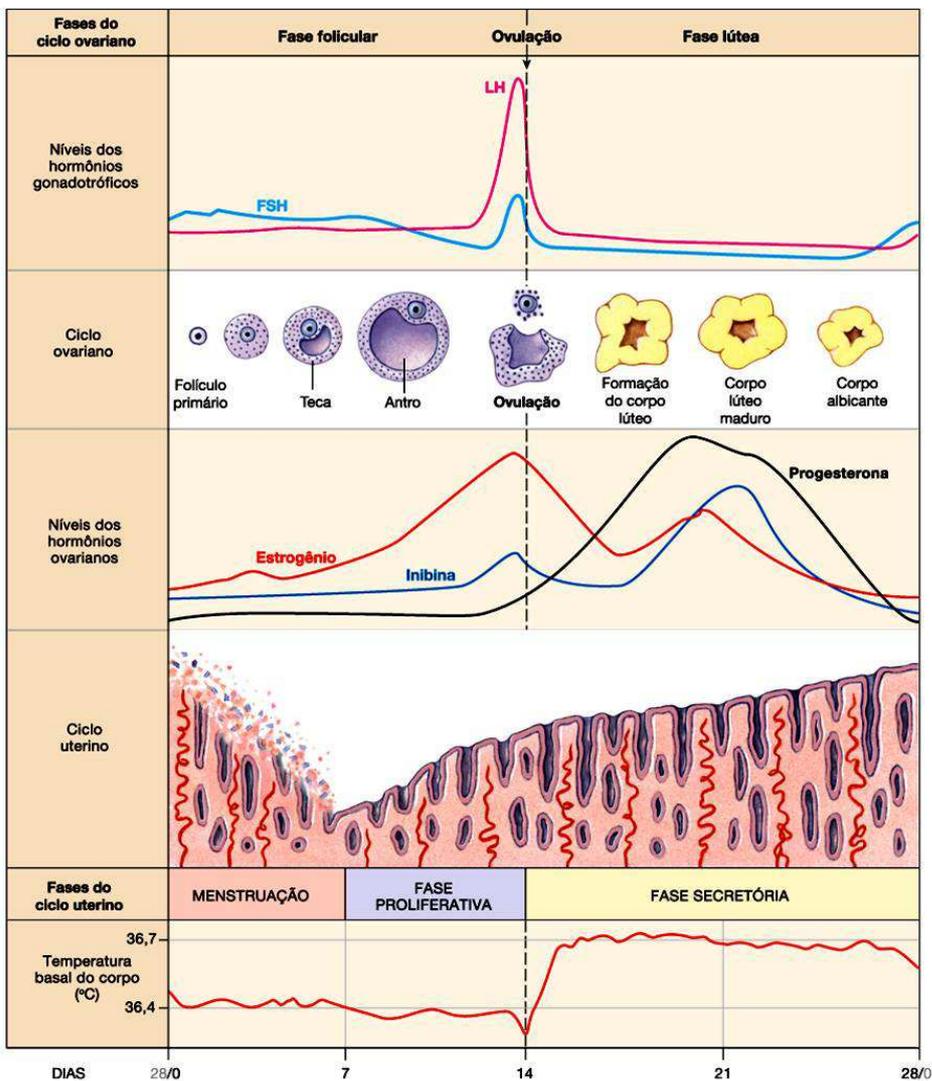
A figura 73 faz uma síntese de todos os eventos relacionados ao ciclo feminino. O ciclo ovariano se divide em três fases: folicular, ovulação e fase lútea. Vamos abordar primeiramente os eventos do ciclo através dos aspectos hormonais. As gonadotrofinas, LH e FSH, são liberadas ritmicamente pela adeno-hipófise sob a regulação do hipotálamo. Os pulsos de FSH estimulam um folículo primário a amadurecer e a produzir estrógenos. O LH irá induzir o folículo a produzir andrógenos. Ambos os hormônios ovarianos são liberados e têm efeitos diversos no corpo da mulher. Os andrógenos atuam sobre o próprio folículo, aumentando a sensibilidade deste ao FSH. Com mais FSH, mais estrógeno é produzido e mais o folículo é desenvolvido. Contudo, o aumento no nível do estrógeno faz o hipotálamo inibir o eixo, com conseqüente redução das gonadotrofinas. Ocorre que, o aumento sustentado do nível de estrógeno, faz uma mudança na ativação do eixo e, então, resulta no pico de LH e FSH pré-ovulação. Esses eventos constituem a fase folicular.

No dia seguinte ao pico das gonadotrofinas, o folículo maduro libera o ovócito, a ovulação propriamente dita. A partir daí, as gonadotrofinas voltam ao estágio pulsátil e o estrógeno reduzirá gradativamente. Contudo, o restante do folículo maduro se transforma em corpo lúteo e essa estrutura passa a produzir progesterona e também estrógeno, fazendo o nível desse hormônio voltar a crescer. Essa é a fase lútea. Esses hormônios tem importante função de preparar o aparelho feminino para a gravidez. Nesse sentido, a progesterona age sobre as células do endométrio. A parede se espessa, novos vasos sanguíneos são formados e as células se diferenciam para assumir a produção de hormônios, tornando-se secretórias. O

corpo lúteo sustenta essa organização por aproximadamente 12 dias, quando degenera em corpo albicante (figura 73).

As fases do ciclo ovariano repercutem diretamente no útero em função do “objetivo” do ciclo ser a reprodução. Caso a fecundação não ocorra, tem-se a menstruação.

Figura 73: Ilustração com a síntese de eventos no ciclo reprodutivo feminino. Observe que a primeira linha do quadro especifica as fases do ciclo ovariano, enquanto na parte final do quadro, em cores, aparecem as fases do ciclo menstrual. Compare as fase em cada ciclo.



Fonte: Silverthorn, 2010

O ciclo menstrual nada mais é do que o reflexo do ciclo ovariano. Ele começa a ser contado do primeiro dia de sangramento. O sangramento representa a descamação da parede do endométrio do útero. Essa descamação ocorre enquanto o folículo está no início do amadurecimento, correspondendo a fase de menstruação. Ao final da descamação, o folículo ovariano já está mais maduro e a produção de estrógenos aumentou. Esse hormônio atua sobre a parede uterina estimulando a multiplicação celular, fase proliferativa do ciclo. Após a ovulação, o estrógeno e a progesterona do corpo lúteo transformam a parede do útero na preparação para a gravidez, conforme explicitado acima, e as células do endométrio se tornam secretórias, a fase secretória do ciclo menstrual. Se a fecundação ocorrer, a chegada do embrião dará sequência a esses eventos – conforme veremos na gravidez. Caso contrário, o corpo albicante degenera e, na ausência de estrógeno e progesterona, a parede uterina perde a capacidade de se manter e então descama, recomeçando o ciclo.

Fecundação e Gravidez

Para ocorrer a gravidez, o primeiro passo é a fecundação. O encontro do óvulo com o espermatozoide, embora comum, é um grande desafio. O homem produz espermatozoides continuamente e, a cada ejaculação, milhares são liberados. Esses espermatozoides passaram por muitas transformações na sua estrutura. Carregam o DNA em um pequeno corpo que é impulsionado por uma cauda móvel. O processo final de amadurecimento ocorrerá na genitália interna feminina.

A intromissão do pênis ereto no canal vaginal leva o espermatozoide o mais próximo possível do ambiente uterino. Quando a ejaculação ocorre nas proximidades do cérvix, muitos espermatozoides conseguem atravessar o muco que sela essa passagem. Esse muco é menos espesso nos dias em torno da ovulação. Ainda assim, dentro do útero, o espermatozoide deve ser capaz de nadar em direção às tubas uterinas. Caso a ovulação tenha ocorrido a no máximo 48 horas, o espermatozoide poderá ter sucesso. Ao alcançar o óvulo será preciso fecundá-lo, entrando no citoplasma dele, vencendo as camadas de células da coroa radiada e a zona pelúcida.

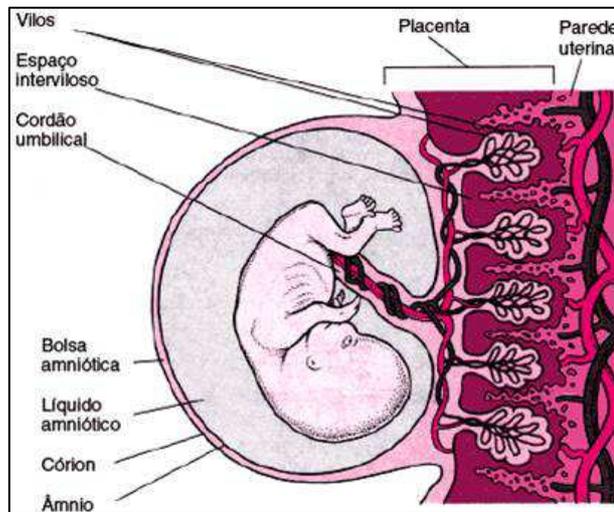
Apesar de todos os obstáculos, em certas ocasiões, o improvável pode acontecer. Para ocorrer o coito, um requisito importante para a mulher é a lubrificação vaginal. O líquido produzido pelas glândulas de Bartolini e pela mucosa vaginal reduz o atrito entre o pênis e a mucosa, mas também é um meio de propagação do espermatozoide, que só pode nadar em ambiente líquido. Nas situações em que a ejaculação ocorre fora do canal vaginal, mas em sua proximidade, e que a mulher esteja com grande lubrificação, espermatozoides podem alcançar o útero, fluindo pelo ambiente líquido. Assim, caso a mulher esteja “fértil” (ovulado recentemente), é possível ocorrer fecundação mesmo sem penetração.

A fecundação só pode ocorrer nos primeiros dias da fase lútea, uma vez que esta é a viabilidade do óvulo. Sendo assim, o embrião, ao alcançar o útero, encontrará o miométrio na sua fase secretória. Isto favorece a implantação do blastocisto.

Na implantação, as estruturas celulares do blastocisto darão origem aos anexos embrionários: o córion, a placenta, o âmnion, o

líquido amniótico e o cordão umbilical (figura 74). Na placenta, as vilosidades coriônicas organizam a formação do cordão umbilical e dos vasos da própria placenta. As vilosidades também produzem o hormônio gonadotrofina coriônica. Este irá manter o corpo lúteo, evitando sua degeneração e garantindo o aporte de progesterona até o amadurecimento da placenta. Outros hormônios serão produzidos pela placenta ao longo da gravidez.

Figura 74: Ilustração de um embrião com os anexos embrionários e a relação deles com a parede uterina. As estruturas indicadas como Vilos são as vilosidades coriônicas.



Fonte: <http://www.manualmerck.net/?id=269&cn=1770>

Aproximadamente 280 dias após a fecundação, a gravidez está concluída e eventos hormonais e físicos dão início ao parto. O hormônio ocitocina, da neuro-hipófise, é liberado em grande quantidade provocando o aumento das contrações uterinas. Elas vão ocorrer simultaneamente ao relaxamento do colo do útero, dos ligamentos dos músculos da pelve e da região genital. As contrações ocorrem na porção superior do útero e impulsionam o bebê contra o cérnix. O amolecimento dessa região favorece a passagem do bebê

para fora. As contrações aumentam e então se dá o nascimento. Em seguida, a placenta também é expelida.

É importante esclarecer que o trabalho de parto é um evento natural e altamente organizado fisiologicamente. A cultura ocidental medicalizou o parto, tornando-o algo hospitalar. Contudo, durante o parto natural, milhares de informações sensoriais são captadas em primeiro momento pelo bebê e muitas podem ter implicações futuras na vida do indivíduo. Atualmente, há um esforço do Ministério da Saúde para o retorno ao parto normal, com a formação de doulas – assistentes de parto.

Comportamento Sexual e Prevenção

Para a maioria dos animais, o ato sexual é o investimento na reprodução direta, com a possibilidade de produção de descendentes. Tanto que para muitos, a ovulação é “divulgada” através do estro ou cio. Muitos primatas, incluindo o homem, escondem a ovulação. As fêmeas dos pequenos saguis do Nordeste são receptivas durante todo o ciclo. A cópula pode não trazer resultados reprodutivos, mas parece ter importante função na estruturação social do grupo e manutenção do par dominante no grupo.

O comportamento sexual humano envolve não somente a “liberação” da relação sexual ao longo de todo o ciclo. Fenômenos culturais e psíquicos passam a compor e orientar esse comportamento, de tal modo que sexo, gênero e identidade de gênero hoje são termos que precisam ser compreendidos de modo mais abrangente. A tecnologia também tem trazido novos horizontes que interferem nesse campo. Remédios como o viagra e o cialis mudaram a vida de muitos homens e mulheres. A reprodução assistida também.

Hoje, os avanços da embriologia trazem a possibilidade de conservação de gametas e mais sucesso na fertilização *in vitro*. Mas, todos esses avanços não conseguem deter as doenças sexualmente transmissíveis.

A educação sexual ainda é melhor garantia para uma vida mais saudável. Educadores têm papel fundamental no esclarecimento dessas questões junto aos seus alunos.

**exercite
sua mente**



Homens que não produzem a proteína SRY são femininos?
Por que a testosterona é anabolizante?
Quais são as relações entre o ciclo ovariano e o menstrual?
Que hormônio caracteriza a gravidez e por quê?

REFERÊNCIAS

- AIRES, M.M. *Fisiologia*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- CARLSON, N.R. *Fisiologia do comportamento*. 7ª ed. São Paulo: Manole, 2002.
- CURI, R.; PROCOPIO, J. *Fisiologia básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H. ; JESSELL, T.M. *Princípios da neurociência*. 4ª ed. São Paulo: Manole, 2003.
- LENT, R. *Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.
- MALAQUIAS, A.P.Q; ALBUQUERQUE, F.S. (Org.) *Fisiologia humana: o essencial em destaque*. Curitiba: Appris, 2014.
- POUGH, F.; JANIS, H.; HEISER, J. B. *A vida dos vertebrados*. 4.ed. São Paulo: Atheneu, 2008.
- RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. *Eckert - Fisiologia Animal*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- ROMERO, S.M.B. *Fundamentos da neurofisiologia comparada: da recepção à integração*. 1ª ed. São Paulo: Holos Editora, 2000.
- SILVERTHORN, D.U. *Fisiologia humana: uma abordagem integrada*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- SCHMIDT-NIELSEN, KNUT. *Fisiologia animal*. 5ª ed. São Paulo: Santos, 2002.
- YAMAMOTO, M. E.; VOLPATO, G. L.. (eds.) *Comportamento animal*. Natal: EDU-FRN, 2007

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Representação de um conjunto de células e os capilares que passam próximo a elas, ilustrando os compartimentos do corpo: LIC – líquido intracelular; LEC-i – líquido intersticial e LEC-p – líquido do plasma sanguíneo que passa pelo capilar (estruturas sem proporção de tamanho entre si). 18*
- Figura 2: Esquema ilustrando as trocas entre o meio externo, o meio interno e a célula. No exemplo, o oxigênio (O₂) é captado e transportado até a célula onde é “consumido” na mitocôndria para a produção de ATP, gerando como resíduo dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ é eliminado usando a via inversa até o meio externo. Atenção: a produção de ATP depende da disponibilidade de biomoléculas e de água, além de oxigênio. As estruturas ilustradas não conservam proporção de tamanho entre si. ... 20*
- Figura 3: Representação da organização das células endoteliais que formam a parede do capilar, com suas junções fechadas e abertas. 26*
- Figura 4: Ilustração do capilar sanguíneo. Hendidura significa “fenda” ou abertura e corresponde às junções relatadas no texto. 26*
- Figura 5. Esquema ilustrando o feedback negativo para o controle da glicose. As setas largas colocadas ao lado da elipse representam as medidas da glicose no início do feedback (seta branca, quando o nível está baixo e seta preta, quando o nível está alto). Essas setas aparecem também no fim do feedback, mas observe que agora estão em sentido contrário. 33*
- Figura 6. Ilustração do sistema respiratório traqueal. Observe que as traqueias se ramificam em traquíolas e que existem sacos de ar ligados às traqueias – estes são estruturas que armazenam oxigênio e também ajudam no equilíbrio durante o voo, para insetos aéreos. 39*
- Figura 7: ilustração do sistema respiratório branquial em um peixe ósseo. Observe a figura e compare com a explicação do texto. 40*
- Figura 8: Ilustração de um ramo de brônquio, no lado esquerdo da figura, se modificando em bronquíolo até a formação dos alvéolos no ácino, o qual é ampliado no lado direito da figura. As finas linhas que estão sobre os alvéolos (as pequenas bolinhas) representam as fibras elásticas deles. Observe que também há fibras elásticas na porção do bronquíolo terminal e que os capilares que recobrem os alvéolos não estão representados. 42*
- Figura 9: Ilustração da caixa torácica a partir de vários ângulos de visão. A figura A (superior esquerda) é a visão de frente, na qual se observa o osso esterno, em amarelo, e as cartilagens costais, em azul (referências que se repetem nas outras imagens); em B (superior direita), vista de perfil ou*

- de lado; em C (centro esquerdo), vista de costa; em D (centro direito) está o arco costal – esterno, cartilagens, costelas: direita e esquerda ligadas à coluna vertebral; em E (inferior), são ilustrados dois ossos de costelas isolados.....44
- Figura 10: Ilustração do ciclo ventilatório. As setas vermelhas indicam a direção do movimento de elevação e retração das costelas; a seta laranja indica a direção do movimento do diafragma.....48
- Figura 11: Ilustração do tubo digestório e seus órgãos em um peixe osteíte. As estruturas coloridas não indicadas são os órgãos anexos: fígado, pâncreas e vesícula biliar.....52
- Figura 12: Em A, desenho esquemático ilustrando as diferentes camadas do tubo digestório (sem relação proporcional exata). Em B, imagem histológica de corte de intestino delgado de galinha.53
- Figura 13: Figura ilustrando a região da faringe com passagem comum ao sistema respiratório e digestório. 1 – cavidade respiratória; 2 – cavidade bucal; 3 – faringe; 4 – traqueia e 5 – esôfago. O início da traqueia e do esôfago contém um anel muscular (esfíncter) que fecha a abertura, mas não está ilustrado na figura.....58
- Figura 14: Peça de dissecação anatômica do sistema digestório de uma ave preparada para foto. Observar o pâncreas circundado pela alça duodenal ou duodeno. Fígado e vesícula biliar não estão presentes.59
- Figura 15: Ilustração comparando os órgãos do tubo digestório entre animais, conforme sua alimentação. Os órgãos anexos não estão representados.66
- Figura 16: Ilustração do estômago poligástrico dos ruminantes. As indicações estão em espanhol, mas os termos principais são compreensíveis em português. São componentes do estômago: o rúmen (ou pança), o retículo (ou barrete), o omaso (ou folhoso) e o abomaso (ou coalheira). As setas pretas indicam a direção do movimento do bolo alimentar.....67
- Figura 17: Em A, ilustração da parede gástrica, evidenciando a invaginação da mucosa e as glândulas gástricas, que se comunicam na superfície através de poros. Em B, foto micrografia da superfície da mucosa gástrica, sendo possível observar o muco protetor.71
- Figura 18: Ilustração da glândula gástrica, suas células e os componentes que cada uma produz.71
- Figura 19: Em A, ilustração das regiões do estômago. Em B, sequencia ilustrando os movimentos resultantes da peristalse no estômago: 1- a contração inicia na parte superior do corpo; 2- a onda peristáltica chega à porção final do corpo e impulsiona o conteúdo para o antro (observar que o piloro está aberto e com isso ocorre esvaziamento do conteúdo para dentro do duodeno); 3- o antro se contrai (sístole) fechando o piloro. Na ilustração 3, aparecem duas outras contrações, para demonstrar que as

- ondas não param. Com isso, o efeito do fechamento do piloro é o retorno do conteúdo ao antro, sendo misturado ao conteúdo que chega a partir do corpo, e retendo o esvaziamento para o duodeno. 73
- Figura 20: Ilustração dos tipos de sistema circulatório: aberto e fechado. 81
- Figura 21: Ilustração do sistema circulatório de um peixe osteíte. As linhas desenhadas em azul representam o sangue venoso; as linhas desenhadas em vermelho representam o sangue arterial. Atenção: o coração está ilustrado em vermelho, mas o sangue que passa por ele é venoso. Os textos em vermelho estão indicando as redes de capilares ilustradas (há muitas outras que não aparecem na ilustração). Observar a indicação do sistema “porta hepático”. 83
- Figura 22: Em A, foto de tecido cerebral humano na qual se evidencia um artéria principal e suas ramificações e as ramificações destas; em B, fotomicrografia de tecido cerebral humano evidenciando ramos de arteríolas e a formação das redes de capilares. 84
- Figura 23: Ilustração comparando os tipos de circulação de peixes, anfíbios e mamíferos. Observar a diferença nos compartimentos do coração de cada um deles. Em azul, está representado o sangue venoso e, em vermelho, o sangue arterial. 86
- Figura 24: Ilustração da composição do sangue. Em A, a proporção de plasma, leucócitos e plaquetas e hemácias em uma porção de sangue centrifugado. Em B, a composição dos elementos dissolvidos no plasma. Observar que entre os elementos estão aminoácidos e também proteínas – proteínas plasmáticas que realizam o transporte de substâncias ou participam da coagulação ou na defesa do organismo. 88
- Figura 25: Ilustração da estrutura do pigmento hemoglobina do eritrócito. 91
- Figura 26: Ilustração da anatomia interna do coração e dos vasos que se comunicam com ele. 96
- Figura 27: Ilustração descrevendo os eventos do ciclo cardíaco. Observe que o termo sístole ventricular está entre dois desenhos de coração – no primeiro essa sístole é isovolumétrica e, no segundo, promove a ejeção; no círculo central, silêncio e ruído se referem à auscultação cardíaca (escutar o batimento do coração). Acompanhe no texto a descrição dos eventos. 98
- Figura 28: Ilustração caracterizando a estrutura dos vasos sanguíneos. 100
- Figura 29: Ilustração das estratégias de auxílio ao retorno venoso, com o funcionamento das valvas associado à bomba muscular esquelética. 1 - as valvas venosas estão relaxadas; 2 – ao contrair os músculos da perna, eles pressionam a veia, fechando a valva distal e abrindo a proximal; 3 – ao relaxar os músculos da perna, a valva próxima se fecha, impedindo o refluxo. 103

- Figura 30: Ilustração da organização da microcirculação. 1 – metarteríola com esfíncter pré-capilar (pode se contrair) bloqueia fluxo para rede, mas o sangue chega à rede através de outra metarteríola; 2 – a metarteríola se liga diretamente à vênula (anastomose), sem rede capilar; 3 – rede de capilares glomerulares dos rins; 4 – rede de capilares formando sistema porta, ligando duas veias. 107
- Figura 31: Ilustração descrevendo os processos na microcirculação. A filtração é representada do lado esquerdo (observe a seta amarela) e a absorção, do lado direito. 109
- Figura 32: Esquema dos componentes do circuito de uma resposta reflexa. Observe que a imagem sugere um “arco”, o que favoreceu ao uso do termo arco-reflexo. 113
- Figura 33: Ilustração da organização do sistema nervoso em vários animais, indicando a evolução da organização desse sistema. 114
- Figura 34: Ilustração indicando as divisões do sistema nervoso em um cavalo. As palavras estão grafadas na língua espanhola: sistema nervoso central (encéfalo e médula spinal) e sistema nervoso periférico (nervios). Observar que os nervos (nervios) ilustrados não apresentam todas as ramificações possíveis, para melhorar a compreensão da imagem. 115
- Figura 35: Ilustração dos tipos de neurônios conforme a quantidade e forma de seus prolongamentos. 117
- Figura 36: Ilustração de um neurônio multipolar com suas diferentes regiões. Observe que no axônio há a bainha de mielina e os nodos de Ranvier. 118
- Figura 37: Ilustração (colorida abaixo) e fotomicrografia (acima) da estrutura de um nervo. Observe a correspondência dos nomes nas duas figuras. 119
- Figura 38: Esquema simplificado representando a organização e interação entre as estruturas do sistema nervoso até a conexão com os efetores. Os pequenos círculos representam o corpo dos neurônios; as linhas, o axônio; “<” representa o terminal sináptico; SNC – sistema nervoso central (tudo que estiver dentro do retângulo de cor laranja); SNA – sistema nervoso autônomo (os neurônios na cor vermelha). Observe que todas as estruturas que estão fora do retângulo de cor laranja, excetuando os efetores, fazem parte do sistema nervoso periférico ou SNP. E também que entre um “neurônio” e outro não há contato, o que representa a sinapse. Não há relação proporcional de tamanho entre as estruturas. 120
- Figura 39: Quadro comparativo entre as respostas produzidas pela ação da divisão simpática e da parassimpática nos diferentes órgãos. 122
- Figura 40: Ilustração do sistema de condução elétrica do miocárdio. 131

- Figura 41: Ilustração indicando a localização das glândulas endócrinas no corpo. Observar que no corpo ilustrado aparecem as gônadas de mulheres e homens (ovários e testículos), simultaneamente. 134
- Figura 42: Esquema representando o controle homeostático do nível do cálcio (Ca^{++}), indicando os efeitos do hormônio da paratireoide (PTH), quando o nível está baixo, sobre os ossos, o intestino e os rins; e indicando os efeitos do hormônio calcitonina sobre as mesmas estruturas, quando o nível está alto. 137
- Figura 43: Ilustração do pâncreas, situado entre o estômago e o duodeno. Em destaque a estrutura celular. Observe a localização das ilhotas e Langerhans, situadas entre as células produtoras de enzimas digestivas e bicarbonato. 138
- Figura 44: Ilustração da estrutura da hipófise, suas divisões e as estruturas associadas. 1-hipotálamo; 2-sistema porta-hipofisário; 3-porção tuberal da adeno-hipófise; 4-adeno-hipófise; 5-veia hipofisária; 6-neur-hipófise; 7a-artéria hipofisária superior; 7b-artéria hipofisária inferior; 8-pedúnculo hipofisário ou infundíbulo; 9-rede de capilar superior do sistema porta; 10-neurônios hipotalâmicos; 11-neurônios secretores da neuro-hipófise; 11-neurônios que controlam a adeno-hipófise, produzindo hormônios liberadores. 140
- Figura 45: Ilustração da localização e estrutura da glândula tireoide (a) e da organização das células dessa glândula (b)..... 142
- Figura 46: Quadro sintético das relações do eixo hipotálamo-hipófise. Os hormônios que resultam ao final em cada linha de relação estão marcados em azul..... 143
- Figura 47: Ilustração do ouvido humano com suas subdivisões: ouvido externo, médio e interno, e as estruturas que fazem parte de cada uma delas. Observar os canais semicirculares que fazem parte do órgão do equilíbrio..... 151
- Figura 48: Ilustração da cóclea a partir de vários ângulos. O destaque superior mostra a cóclea “desenrolada”, permitindo a visualização das janelas oval e redonda e da três divisões cocleares na horizontal, evidenciando que a parte final é mais estreita. Os dois desenhos inferiores ilustram o órgão de Corti, onde estão localizadas as células pilosas. No primeiro deles, há a indicação do movimento dos cílios com a passagem da onda do líquido coclear..... 152
- Figura 49: Ilustração da mácula do labirinto membranoso, indicando (a) as células ciliadas sem a camada gelatinosa; (b) indicando os estereocílios dentro da membrana gelatinosa coberta por uma camada de partículas de cristais, os otólitos; e (c) o funcionamento da mácula com o movimento da cabeça em inclinação. Detalhe de como o otólito, movimentado pela força gravitacional, desloca a membrana gelatinosa e conseqüentemente os estereocílios. 154

- Figura 50: Ilustração caracterizando o órgão olfativo humano. Observar as projeções em verde que representam os neurônios sensoriais. O destaque abaixo em fotomicrografia é referente aos pelos nasais. 156*
- Figura 51: Ilustração representando a distribuição das papilas gustativas na língua, com destaque para uma papila circunvalada e dela, um botão gustatório com suas variadas células. À direita, a imagem de uma língua colorida a partir da região de captação dos sabores básicos, descritos abaixo, conforme definição tradicional. 157*
- Figura 52: Fotos destacando o olho da coruja, com apenas uma lente, e o olho composto de um inseto, com milhares de lentes. 158*
- Figura 53: Em A, ilustração da estrutura interna do olho; em B, destaque para algumas das camadas da retina na região da fóvea (células horizontais e amácrinas não foram ilustradas). Observe a inclinação das linhas vermelhas em cada estágio dentro do olho, na figura A, o que representa a refração. 159*
- Figura 54: Esquema sintetizando as funções das divisões do sistema nervoso central, indicando a relação hierárquica entre elas. 164*
- Figura 55: Ilustração de fragmento de pele com os vários tipos de receptores somestésicos. Observe as terminações nervosas (em cor branca) e compare com os demais receptores ditos encapsulados. 165*
- Figura 56: Em A, ilustração da medula espinhal, destacando o nervo espinhal (nervo mixto) e suas raízes: dorsal sensorial e ventral motora. Observe a indicação do gânglio espinal (ou dorsal), no qual estão os corpos dos neurônios sensoriais. Em B, foto de corte histológico de medula indicando suas diferentes regiões. As setas vermelhas indicam a membrana que recobre a medula e a seta preta, indica a fissura mediana anterior (ou ventral) da medula. 168*
- Figura 57: Ilustração das via sensorial dorsal (tato discriminativo) e da via sensorial anterolateral (nocicepção). Observe o momento em que cada via cruza a linha média (pontos 1 e 2). Atenção para as setas na via anterolateral no ponto 2 (em vermelho), que representam ramificações do axônio para o tronco encefálico, bem como o ramo curvado (em preto), após a sinapse no tálamo, no ponto 3, para o córtex límbico. Essas ramificações representam a “distribuição” da informação de dor. Veja mais detalhes no texto. 169*
- Figura 58: Ilustração das divisões do córtex, associando as divisões neuroanatômicas: frontal, parietal, occipital e temporal, com as divisões funcionais: córtex primário, córtex secundário (ou de associação sensorial) e córtex de associação. Esta última divisão está indicada por números: 1- córtex de associação parieto-occipital; 2 – córtex de associação temporal; 3 – córtex de associação límbico (parte dele não está visível); 4 – córtex de associação frontal ou pré-frontal. 173*

- Figura 59: Foto de esculturas que representam o homúnculo sensorial, à esquerda, e o homúnculo motor, à direita. 178
- Figura 60: Ilustração da contração dos músculos esqueléticos do braço (bíceps e tríceps). Na imagem da esquerda, o bíceps está contraído e seu tendão puxa o osso rádio do antebraço em direção ao braço (movimento de flexão do braço), ao mesmo tempo, o tríceps está relaxado. Na imagem da direita, o tríceps está contraído e puxa o osso ulna do antebraço, promovendo a extensão do braço, enquanto o bíceps está relaxado... 180
- Figura 61: Em A, ilustração da estrutura de um músculo esquelético em feixes de fibras; em B, fotomicrografia evidenciando as estrias desse tipo de músculo. 180
- Figura 62: Ilustração da organização da fibra muscular, suas miofibrilas com os miofilamentos de actina (fino) e miosina (grosso). Em destaque a organização dos miofilamentos em sarcômero, delimitado pela linha Z. Observe as estruturas no entorno das miofibrilas: o retículo sarcoplasmático (em verde) e os túbulos T (em amarelo) – não é evidente na figura, mas esses túbulos são ligados ao sarcolema. 181
- Figura 63: Fotomicrografia de um terminal de neurônio motor (em cor clara) sobre fibras musculares esqueléticas, formando a placa motora. 184
- Figura 64: Ilustração dos neurônios que participam do reflexo protetor desencadeado por dano ao pé. Observar que a quantidade de neurônios é apenas ilustrativa (há centenas de neurônios na região ocupada no desenho por quatro). Os neurônios em vermelho são inibitórios; interneurônio é o mesmo que neurônio associativo. Veja os detalhes no texto. 186
- Figura 65: Ilustração esquemática da estrutura do coração, quando o feixe único do miocárdio é desenrolado (item 1 a 4). Ao – aorte; PA – artéria pulmonar; as siglas rs, as, is e ds representam regiões do feixe que permitem acompanhar o “desenrolar”, observando onde a área estava no coração originalmente..... 189
- Figura 66: Ilustração da contração de um músculo liso. As linhas representam as miofibrilas. 190
- Figura 67: Ilustração do circuito de controle da micção. Veja detalhes no texto.. 191
- Figura 68: Ilustração da estrutura macroscópica de um rim, em destaque sua unidade funcional: o néfron (nefrônio). Observe o formato dos tubos do néfron. 192
- Figura 69: Ilustração da gônada bipotencial do embrião na sexta semana. 196
- Figura 70: Ilustração do sistema reprodutor masculino. Observe na figura à direita o detalhe do interior do testículo representando os túbulos seminíferos. 197

- Figura 71: Ilustração da estrutura do testículo. Observe na imagem à direita as células de Leyding e as de Sertoli. 198*
- Figura 72: Ilustração da genitália externa e interna feminina. 200*
- Figura 73: Ilustração com a síntese de eventos no ciclo reprodutivo feminino. Observe que a primeira linha do quadro especifica as fases do ciclo ovariano, enquanto na parte final do quadro, em cores, aparecem as fases do ciclo menstrual. Compare as fase em cada ciclo. 202*
- Figura 74: Ilustração de um embrião com os anexos embrionários e a relação deles com a parede uterina. As estruturas indicadas como Vilos são as vilosidades coriônicas. 205*

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

abdome · 43
abertura vaginal · 200
abomaso · 67, 68
absorção · 52, 56, 59, 61, 63, 68, 70, 72, 74, 109
acetilcolina · 127, 132, 139
acidez · 60, 70, 74
ácido clorídrico · 70, 73
ácido fólico · 92
ácidos graxos · 36, 61, 62, 66
actina · 181, 182, 183, 184
adeno-hipófise · 139, 140, 141
ADH · 140
adrenal · 122, 132, 142
adrenalina · 108, 122, 132, 134
agonista · 179
água · 36
alerta · 121, 144, 171
alfa · 138
alvéolos · 41
amácricinas · 159, 160
aminoácidos · 36, 63, 64
âmnion · 205
anabolizante · 199
anastomoses · 107
andrógenos · 201
anéis musculares · 107, 191
anemia · 91
antagonista · 179, 186
antimuleriano · 196
antro · 72, 73
ânus · 52, 54, 63, 75
aquaporinas · 22
ar novo · 49
área associativa límbica · 174
área associativa parieto-occipital · 174
área associativa temporal · 174
área de projeção · 161
área de projeção somestésica · 165
área sensorial secundária · 173
áreas de associação · 173
áreas sensoriais primárias · 172

artéria pulmonar · 86, 95, 100, 189
arterial · 28, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 93, 95, 97, 99, 105, 106, 109
artérias · 82, 84, 95, 96, 99, 100, 101
arteríolas · 84, 85, 101, 105, 106, 107, 108
ascendentes · 162, 167
associativas · 174, 176
atenção · 51, 58, 116, 161, 172, 174
ATP · 16, 18, 20, 35, 36, 79, 144, 182, 183, 184, 189
atrial · 97
átrio · 82, 85, 86, 93, 95, 96, 97, 98, 101
audição · 150
autônomo · 120
autoregulação miogênica · 108
AVCs · 106
axônio · 118, 120, 121, 125, 126, 129

B

bactérias · 36, 62, 65
bainha de mielina · 118
balanço de massa · 19
baroreceptores · 123
barrete · 67
bastonetes · 158, 160
beta · 138
bexiga · 164, 190, 191, 192, 193
bicarbonato · 60
bigorna · 151
bile · 55
biomoléculas · 16
bipolar · 117
boca · 52
bolo alimentar · 54
bomba · 81, 102, 103
botões gustatórios · 155, 156
bradicardia · 104, 132
bronquíolos · 41
brônquios · 41
bulbo · 116, 123, 129, 155, 168

C

cálcio · 28, 36, 136, 137, 139, 148, 182, 183, 184, 188, 189
calcitonina · 137, 138, 141
camada dos axônios · 159
camada ganglionar · 160
camada nuclear externa · 160
camada nuclear interna · 160
camada pigmentar · 160
camada plexiforme externa · 160
camada plexiforme interna · 160
câmaras · 82, 85, 95, 96, 97
canais · 22
canais semicirculares · 151, 153
canal deferente · 197
canal fechado · 23
capilares · 17
capilares alveolares · 86
capilares branquiais · 85
capilares peritubulares · 194
capilares sistêmicos · 85
cápsula de Bowman · 193, 194
captação sensorial · 148, 149
caracteres sexuais secundários · 195, 199
carboidratos · 36
cardiovascular · 29
carnívoros · 51
CCK · 74
ceco · 62
célula do colo · 70
célula G · 70
célula parietal · 70
célula pilosa · 150
célula principal · 70
célula S · 74
células bipolares · 155, 160
células de Leyding · 198
células de Sertoli · 198
células excitáveis · 129
Células fotorreceptoras · 157
células G · 73
células germinativas · 31, 198, 200
células horizontais · 159, 160
células imunológicas · 89
células pilosas · 152, 153, 154, 156, 157
células que se contraem · 69, 179

células tronco · 90
celulase · 65
celulose · 62, 65
centro de controle urinário · 192
centro nervoso · 69, 112, 124, 125, 129
centros · 114, 116
cerebelo · 187
cérebro · 79, 106, 115, 116
cérvix · 200, 204, 206

Ch

chave dos canais iônicos · 184
cheiro · 155, 161

C

ciclo cardíaco · 97, 98
ciclo menstrual · 200, 202, 203
ciclo ovariano · 200, 201, 203
cílios · 49, 152, 155, 156
circuito · 32, 79, 81, 85, 86, 87, 96, 97, 100, 101, 106, 112, 113, 123, 133
circulação · 28, 79, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 94, 95, 96, 101, 102, 105
circulação aberta · 80
circulação completa · 85
circulação linfática · 79
circulação pulmonar · 85, 95, 101
circulação sistêmica · 85, 86, 95
clitóris · 200
cloaca · 52
coagulação · 88, 89
coagulador · 67
coágulo · 89
cóclea · 150, 151, 152, 153, 154
coito · 199, 204
cólon · 62
compartimentos · 17
complacência · 43
complexo motor migratório · 76
comportamento · 30, 37, 40, 147, 175, 176, 191, 195, 199, 206, 208
condução do impulso nervoso · 125
condução saltatória · 125

cones · 158, 160, 161
consciência · 162
controle tônico · 108
coração · 16, 45, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85,
86, 87, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101,
102, 103, 104, 105, 106, 189
cordão umbilical · 205
cordas tendíneas · 96, 98
córion · 205
córnea · 158, 159
corno dorsal · 167, 171
corno ventral da medula · 185
corpo · 16, 17, 18, 19, 25, 27, 28, 29, 31, 38,
39, 41, 43, 50, 56, 61, 64, 72, 73, 76, 79,
80, 83, 85, 86, 95, 102, 103, 105, 107, 108,
111, 114, 116, 117, 118, 120, 121, 123,
128, 129, 133, 134, 135, 136
corpo albicante · 201, 203
corpo lúteo · 201, 203, 205
córtex · 116, 163, 164, 167, 169, 170, 171,
173, 174
córtex motor primário · 177, 179, 187
cortisol · 134, 135, 143
costelas · 43
CPF · 174, 175, 176, 177, 187
cranianos · 122
crescimento · 35, 133, 139, 143
cristalino · 158, 159, 161

D

débito cardíaco · 103, 104, 106
defecação · 72, 75
deglutição · 57
dendritos · 117
dengue · 89
dentes · 54
descamação · 203
desenvolvimento · 31, 128, 133, 139
desmielinizados · 171
despolarização · 125, 128, 129, 130, 131,
132, 152, 153, 155, 160, 166, 172, 184
diafragma · 44
diarreias · 68
diástole · 96, 97, 100
diencéfalo · 116, 163, 164, 169

diferenciação · 31, 195, 196
difusão · 38
difusão facilitada · 24, 64
difusão passiva · 22
difusão simples · 23, 64
digestão · 52
digestão mecânica · 54
digestão química · 55
digestório · 29
dor difusa · 171
dor localizada · 171
ducto coclear · 151, 153
ductos de Muller · 195, 196
ductos de Wolff · 195, 196
duodeno · 59

E

edema · 109
efetores · 31
eixo hipotálamo-hipófise · 141
ejaculação · 198, 199, 203, 204
ejeção · 96, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 106
elastância · 43
elementos figurados · 87
embrião XX · 196
emissão · 199
emoções · 171
emulsificação · 61
encéfalo · 30, 69, 83, 115, 116, 120, 122, 128
endócrino · 31
endotélio · 25
energia · 15, 16, 18, 19, 27, 35, 36, 51, 62,
64, 65, 68, 79, 92, 106
enfartos · 106
enterócito · 61
enterogástrico · 74
enzimas digestivas · 55
epidídimo · 197, 198
epineuro · 119
epitélio nasal · 155
equilíbrio · 28, 29, 39, 150, 151, 153
ereção · 199
eritrócitos · 88, 89, 90, 91, 92, 93
eritropoetina · 91
eructação · 66

esfincter · 57, 58
esfincter esofágico inferior · 58
esfincter ileocecal · 62
esfincter interno do ânus · 75
esfincteres · 58, 68, 75, 191, 192
esôfago · 57
espaço morto · 48
espermatozoides · 197, 198, 199, 203, 204
espinhais · 121
esteroides · 135
estômago · 38
estriado · 180, 188
estribo · 151
estrógeno · 201, 203
estrógenos · 201, 203
excreção · 37, 52, 60
expiração · 47
exteroceptores · 147, 148, 149

F

faixa homeostática · 27
faringe · 57
fascículo · 119
fase de menstruação · 203
fase folicular · 201
fase lútea · 200, 201, 204
fase proliferativa · 203
fase secretória · 203, 204
fator intrínseco · 70
fechada simples · 84
feedback · 32, 33
feedback negativo · 32
feixe de His · 131, 132
fenda sináptica · 126, 127
ferro · 90, 91
fibra · 129, 166, 168, 180, 181, 183, 184, 188
fibra aferente · 166
fibras · 42, 129, 130, 131, 166, 167, 179, 180, 183, 184, 185, 188, 189
fibras de Purkinje · 131
filtração · 25, 108, 109, 194
filtrado · 194
flora intestinal · 62
fluxo · 72, 75, 81, 82, 85, 87, 95, 96, 97, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108

folhoso · 67
folículos primários · 200
formar imagem · 157
fóvea · 159, 161
frequência (FC) cardíaca · 104
frequência de impulsos · 149, 153, 155
função executiva · 174
funções cognitivas · 161, 163, 164
fundo · 19, 29, 62, 72

G

ganglionares · 121, 122, 123, 129, 132
gânglios · 69, 70, 72, 73, 75, 112, 114, 115, 116, 120, 121, 122
gânglios autonômicos · 120
gástrico · 60
gastrina · 73, 74
gastrocólico · 72
gene Y · 196
geral · 97
GH · 143
gigantismo · 145
glândula mestra · 139, 140
glândula mista · 32, 138
glândulas endócrinas · 31, 69, 111, 134, 140
glândulas exócrinas · 31
glândulas oxínticas · 70
glândulas salivares · 55
glicemia · 138
glicérol · 36, 61, 62
glicogênio · 32, 65
glicose · 23, 24, 28, 32, 33, 36
glomérulo de Malpighi · 193
glomérulos · 155
glote · 57
glucagon · 32, 138, 139
gônada · 195, 196, 197
gônadas · 134, 135, 143
gradiente · 21
grandes lábios · 200

H

hematose · 39
hemoglobina · 90, 91, 92, 93, 94
hemolinfa · 80
herbívoros · 51
hidrofílicos · 135
hidrofóbicos · 135
hidrólise · 61
hipercortisolismo · 145
hipersecreção · 144
hipertensão · 106
hipertireoidismo · 144
hipocampo · 174
hipocortisolismo · 145
hipófise · 134, 139, 140, 141, 143
hipófise anterior · 139
hipófise posterior · 139
hipossecreção · 144
hipotálamo · 116, 134, 139, 140, 141, 143
hipotálamo-hipófise · 198
hipotensão · 106
hipotireoidismo · 145
homeostase · 21, 25, 27, 29, 31, 37, 79, 83, 97, 121, 133
homúnculo motor · 178
homúnculo sensorial · 170
hormônio gonadotrofina coriônica · 205
hormônios · 31, 69, 75, 76, 104, 111, 113, 132, 133, 134, 135, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 200, 201, 205
hormônios liberadores · 141
hormônios peptídeos · 135
hormônios tróficos · 141
humanos · 61, 102, 162
humor aquoso · 158, 159
humor vítreo · 159

I

identidade · 90, 175
identificação · 15, 174
íelo · 59
ilhotas de Langerhans · 138
implantação · 204, 205

impulso nervoso · 124, 125, 126, 127, 129, 148, 150, 155, 161, 176, 184
incompleta · 85
inspiração · 47
insulina · 24, 33, 138, 139
intensidade · 72, 101, 149, 150, 155
intercostais externos · 43
intercostais internos · 43
interoceptores · 148
intestino delgado · 53, 59, 62
involuntário · 76, 112
íon bicarbonato · 94
íon cálcio · 127, 136
íons hidrogênio · 94
íris · 158

J

janela oval · 151, 153
jejuno · 59
junções abertas · 25
junções comunicantes · 130
junções fechadas · 25

L

labirintite · 153
Lei de Frank-Starling · 104
leucócitos · 88, 89, 90
linha lateral · 149
linha média · 168, 169, 171, 186, 188
linhas Z · 181
lipídeos · 36
líquido amniótico · 205
líquido extracelular · 17
líquido intersticial · 17
líquido intracelular · 16
líquido pleural · 46
luz · 52

M

macronutrientes · 36
mácula lútea · 161
máculas · 153

martelo · 151
mecânica respiratória · 43
mecanoreceptor · 126, 149
mecanorreceptores · 150, 154, 166, 191
Mecanorreceptores · 199
medula · 30, 69, 90, 115, 116, 120, 121, 122, 123, 129, 162, 163, 167, 168, 170, 171
medula espinal · 115
medula óssea · 90
meia-vida curta · 135
meia-vida longa · 135
meio interno · 18
membrana celular · 21
membrana do núcleo · 135
memória · 116, 161, 174, 176
memória operacional · 174
memórias autobiográficas · 174
mensageiros químicos · 133
metabolismo · 16, 19, 27, 36, 133
metano · 66
metarteríolas · 106, 107
micela · 61
micronutrientes · 36
microvilosidades · 60
miocárdio · 104, 123, 129, 130, 131, 189
miofibrilas · 36, 181, 188, 190, 199
miosina · 181, 182, 183, 184
mistura · 55
moela · 58
moléculas odorantes · 155
motilidade · 52
movimento · 15, 21, 24, 26, 28, 31, 41, 46, 48, 54, 57, 67, 75, 76, 87, 93, 96, 100, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 160, 161, 163, 170, 174, 175, 176, 179, 180, 187, 188, 189
movimentos executado em etapas · 175
movimentos reflexos · 175
movimentos respiratórios · 47
movimentos voluntários · 111, 163, 175
muco · 49, 60
mucosa · 53
multiplicação celular · 203
multipolar · 117, 118
muscular circular · 53
muscular esquelética · 102, 103
muscular longitudinal · 53

muscular-esquelético · 37
músculo é um conjunto de feixes de fibras · 180
músculo esquelético faz o corpo se mover · 179
músculo liso · 31, 69, 75, 76, 100
músculo liso da bexiga · 191
músculo liso multiunitário · 189
músculo liso unitário · 189, 190
músculos · 24, 31, 36, 43, 44, 46, 47, 54, 69, 102, 103, 108, 111, 129, 130, 132, 147, 148
músculos liso · 31
músculos respiratórios acessórios · 44

N

nanismo · 145
NAV · 131, 132
néfron · 193
nervo · 118, 119, 122
nervo espinhal · 167, 168, 185
nervo vago · 122
nervos · 30, 45, 53, 69, 111, 112, 113, 115, 116, 120, 121, 122
nervos cranianos · 154, 167
nervos efetores · 112, 113
nervos espinhais · 119, 162, 166
nervos sensoriais · 112
nervoso · 29
neuro-hipófise · 139, 140
neurônio · 114, 116, 117, 118, 121, 124, 126, 127, 129
neurônio motor · 179, 184, 185, 186, 191, 192
neurônio pós-sináptico · 126, 127
neurônio pré-sináptico · 126
neurônio sensorial primário · 167
neurônio sensorial secundário · 168
neurônio terciário · 171
neurônios associativos · 120, 123
neurônios associativos inibitórios · 191
neurônios bipolares · 155
neurônios motores · 183, 185, 186
neurônios sensoriais · 120, 123, 128
neurônios simpáticos · 191, 199
neurônios terciários · 169, 171

neurotransmissores · 126, 127, 128, 129,
132, 133, 183, 184, 185
nó atrioventricular · 131
nó sinoatrial · 130
nociceptores · 166, 171
nodos de Ranvier · 118, 125
noradrenalina · 108, 127, 132, 139
NSA · 130, 131, 132
núcleo do trato solitário · 163
núcleos da base · 164, 187
núcleos dos nervos cranianos · 185
nutrientes · 16, 35

O

o ar velho · 48
ocitocina · 140, 205
olhos · 30, 139, 145, 157, 158
omaso · 67
omnívoros · 51
órçã de Corti · 152
órçãos anexos · 52
órçãos do sistema · 52
órçãos dos sentidos · 148
osmolaridade · 28
osmose · 24
ossículos · 151, 153
ossos · 37, 43, 44, 90, 136, 137
ostíolos · 80
otólitos · 153, 154
ouvido · 30, 150, 151, 154
ouvido externo · 150, 151
ouvido médio · 150
ovário · 200
ovários · 134
ovulação · 200, 201, 203, 204, 206
óvulo · 195, 199, 200, 203, 204
oxiemoglobina · 93
oxigênio · 36

P

pança · 65, 67
pâncreas · 32, 52, 55, 59, 61, 74, 134, 138
papo · 58

parassimpático · 121
paratireoide · 136, 137
paratireoides · 134
parede · 52
parede do capilar · 25
parto é um evento natural · 206
pela vontade · 175
pêlo · 149
pelve · 43
pênis · 197, 199, 204
pepsina · 70
pepsinogênio · 70
pequenos lábios · 200
percepção · 162, 169, 170, 171, 172, 173,
174
perineuro · 119
peristalse · 54
pigmentos · 160
piloro · 59
pinças · 54
pituitária · 139
placenta · 205, 206
planejar · 174
plano · 163, 175, 176
plaquetas · 88, 89, 90
plasma · 17, 18, 25, 87, 88, 89, 93, 94, 108,
109
pleura · 45
pleura parietal · 45
pleura visceral · 45
plexos · 54
poligástrico · 65
pontes cruzadas · 182, 188
pontes de hidrogênio · 46
potencial excitatório pós-sináptico · 128
potencial inibitório pós-sináptico · 128
potencial muscular · 129, 131
potencial pós-sináptico · 127
pré-frontal · 173, 174
pré-ganglionares · 121, 122, 123
primeiro som cardíaco · 98
processamento neural · 154
progesterona · 201, 203, 205
prolactina · 143
propelir · 54
proprioceptores · 148
proteínas · 36

proteínas carreadoras · 23
proteínas plasmáticas transportam os esteroides · 135
proteínas transportadoras · 22, 64
proventrículo · 58
pseudounipolar · 117, 124
PTH · 136, 137, 138
pulmões · 41
pulso · 100, 102, 103, 105, 108
pupila · 158

Q

quelíceras · 54
quilomícrons · 61
quimiorreceptores · 126
quimo · 72, 74

R

raiz dorsal · 120, 167
ramificados · 185
ramo sensitivo · 167
rampa do vestíbulo · 151
reabsorção · 63, 67, 194
receptores · 30, 31, 123, 126, 127, 133, 135, 136, 144, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 160, 161, 165
receptores dentro do citoplasma · 135
receptores na célula · 133
receptores sensoriais · 30, 31, 123, 148, 152, 153, 154, 155, 156, 160, 165
receptores sensoriais viscerais · 30
receptores sinápticos · 127
receptores somestésicos · 165
redes de capilares · 83, 84, 86, 93
reflexo · 70, 72, 74, 75, 111, 112, 113, 122, 129, 130, 132, 133, 164, 176, 185, 186, 188, 192, 203
Reflexo · 111
reflexo é desencadeado pelo estímulo · 176
reflexo nervoso · 112
reflexo ortostático · 122, 129, 130, 132, 133
reflexo protetor · 185, 186
reflexos aprendidos · 176

reflexos comportamentais · 163
reflexos medulares · 185
refluxo · 81, 99, 102, 103
refração · 159
região límbica · 171
regiões funcionais · 164
remissão · 199
renal · 29
repolarização · 125, 130
reprodução · 31, 133
reservatório de pressão · 100
reservatório de volume · 101
resíduo · 18
resistência periférica · 103, 105
respiração alveolar · 50
respiração branquia · 40
respiração celular · 35
respiração cutânea · 38
respiração pulmonar · 41
respiração traqueal · 38
respiratória · 58, 102
respiratório · 29
respostas imediatas · 31, 133, 162
respostas reflexas · 111, 113
retículo · 67
retículo sarcoplasmático · 182, 183, 184, 188
retina · 158, 159, 160
reto · 75
retorno venoso · 87
rins · 91, 107, 136, 137, 192
ritmicidade · 76, 104, 130, 132
rúmen · 65, 66, 67
ruminação · 65, 67

S

sabor · 90, 155, 156, 161
sabores básicos · 156, 157
sais biliares · 60
saliva · 57
sangue · 17, 18, 19, 25, 29, 32, 39, 40, 41, 48, 49, 61, 64, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109

sarcolema · 182, 184
sarcômero · 181, 182, 183
secreção ácida · 59
secreção gástrica · 70, 74
secreção pancreática · 60
secreções digestivas · 55
secretina · 74
segundo som cardíaco · 99
semipermeável · 22
sensação · 27, 72, 154, 166, 170, 171, 172, 173
sensibilidade somestésica · 165, 167
sensor · 32, 112, 113
sentido · 33, 45, 74, 82, 85, 87, 96, 148, 149, 150, 158, 165, 189
septo · 95, 96
serosa · 53
simpático · 121, 122
sinapse · 126, 128, 129, 130
sistema circulatório · 39, 64, 79, 80, 81, 83, 102
sistema de condução elétrica · 131
sistema digestório · 50
sistema endócrino · 31, 56, 69, 111, 112, 133, 139
sistema muscular-esquelético · 31
sistema nervoso · 30, 31, 37, 56, 57, 69, 95, 104, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 120, 125, 128, 133, 139
sistema nervoso central - SNC · 30
sistema nervoso entérico · 69
sistema nervoso periférico · 115, 120
sistema renal · 192
sistema respiratório · 37
sistema tegumentar · 31
sistêmico · 85, 86
sístole · 73, 96, 97, 98, 99
SNC · 30, 31, 32, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 115, 118, 119, 120, 121, 127
SNP · 115, 116, 118, 119, 120
solutos · 17
somatotopia · 170
somatotópica · 177
somestesia · 165, 167
SRY · 196
substância gelatinosa · 171
sucos digestivos · 55

T

T₃ · 141, 142
T₄ · 141, 142
tálamo · 116, 163, 169, 171
tampão plaquetário · 89
tamponamento · 94
taquicardia · 104, 132
tato fino · 166, 167
tato grosseiro · 166, 168
telencéfalo · 116
temperatura · 28, 32, 49, 144, 148, 149, 166
tempo e espaço · 174
terminações · 124, 132, 139
terminações encapsuladas · 166
terminações livres · 165, 166
terminais motores · 185
terminais parassimpáticos · 132
terminais simpáticos · 132
terminal sináptico · 118, 120, 125, 126
termogênese · 144
termorreceptores · 166
testículos · 134, 197
testosterona · 196, 197, 198
tímpano · 150, 151, 152, 153
tireoide · 134, 136, 137, 139, 141, 142
tireotrofina · 141
tiroxina · 139, 141
tonotopia · 153
tônus vascular · 108
tórax · 43
transdução · 125, 126, 148, 149, 151, 155, 161
transmissão sináptica · 126, 129
transportadores dos gases · 90
traqueia · 41
trato corticoespinal lateral · 188
triglicerídeo · 61
tri-iodotironina · 141
TROCAS GASOSAS · 37
tronco encefálico · 116, 154, 157, 162, 163, 168, 169, 171
TSH · 141
tubas · 200, 204
tubo digestório · 52
tubo renal · 193, 194
túbulos seminíferos · 197, 198

túbulos T · 182, 184

U

único sentido · 81

unidade funcional · 113

unidade motora · 185

unidades motoras · 179, 185, 188

unipolar · 117

ureteres · 193, 194

uretra · 191, 197, 199, 200

urina · 29, 63, 91, 137, 140, 190, 192, 193, 194, 198

útero · 189, 200, 203, 204, 205

V

vagina · 200

valva bicúspide · 96

valva tricúspide · 96

valvas atrioventriculares · 96, 97, 98

valvas semilunares · 97, 99

valvas venosas · 102, 103

válvulas · 81

variáveis do meio externo · 148

variáveis fisiológicas · 27

vasos · 17, 39, 45, 53, 79, 80, 81, 83, 84, 96, 97, 99, 100, 106, 107, 108, 119, 123, 124

vasos coronarianos · 106

vasos de condução · 84, 100

veia porta · 87

veias · 82, 84, 85, 86, 95, 97, 101, 102, 107

veias cavas · 95, 102

veias pulmonares · 95

venoso · 82, 83, 85, 86, 87, 92, 94, 95, 97, 102, 103

ventilação · 47

ventricular isovolumétrica · 98

ventrículo · 82, 85, 86, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 104, 105

vênulas · 84, 85, 86, 101

vesícula biliar · 55

vesículas sinápticas · 126

via · 20, 29, 30, 31, 133, 161

via anterolateral · 168, 169, 171

via da coluna dorsal · 167

via dorsal · 168, 169, 170, 171

via motora · 176, 188

via reflexa · 185

via sensorial · 167, 169

vias ascendentes da medula · 162

vias descendentes · 162, 163, 199

vias descendentes da medula · 162

vibração · 149, 151, 166

VIDA · 15

vilosidades coriônicas · 205

vitamina B12 · 70, 92

volume diastólico final · 104

volume sistólico · 104

volume sistólico final · 104

SOBRE A AUTORA



FABÍOLA DA SILVA ALBUQUERQUE: Bióloga (UFRPE), Mestre em Psicobiologia (UFRN) e Doutora em Psicologia (USP); Professora do Departamento de Fisiologia e Patologia da UFPB (desde 2010) e do Departamento de Fisiologia da UFRN (1996-2010), ministrando a disciplina de fisiologia para diferentes cursos da área de saúde (medicina, biomedicina, enfermagem, odontologia, nutrição e terapia ocupacional), para a biologia e para a psicologia. Organizadora do livro *Fisiologia Humana: O Essencial em Destaque*, pela Editora Appris, 2014. Email: fabiolasalbuquerque@gmail.com